

**PROPUESTA DE MODELO DE VIVIENDA FLOTANTE DE UN PISO, COMO  
SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA POR INUNDACIÓN EN EL BARRIO VILLA  
JULIANA, LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE CARTAGO – VALLE DEL  
CAUCA**



**STEFANNY PAREJA CASTAÑO  
DALYS FERNANDA RIVEROS NIETO**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PEREIRA, RISARALDA**

**2013**

**PROPUESTA DE MODELO DE VIVIENDA FLOTANTE DE UN PISO COMO  
SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA POR INUNDACIÓN EN EL BARRIO VILLA  
JULIANA, LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE CARTAGO – VALLE DEL  
CAUCA**

**STEFANNY PAREJA CASTAÑO**

**DALYS FERNANDA RIVEROS NIETO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniera Civil**

**Director**

**Daniel Lerma**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**PEREIRA, RISARALDA**

**2013**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecerle a Dios por guiarme y permitirme cumplir una de las metas más importantes de mi vida al adquirir los conocimientos para terminar mis estudios de pregrado y por consiguiente el presente proyecto de investigación necesario para obtener el título de Ingeniera civil.

A mis padres quiero agradecerles por el apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por las bases que me inculcaron promoviendo los mejores valores, por la oportunidad que me brindaron al permitirme estudiar y poder adquirir un título profesional, teniendo en cuenta todos los esfuerzos que han pasado para darme los recursos económicos y sobre todo por ser ejemplo de vida.

A mi novio por ser la persona que ha estado en mis momentos de tristeza y alegría a lo largo del proceso, quiero agradecerle por estar ahí cuando mas lo necesito y sobre todo por su paciencia.

Quiero agradecer a mi familia abuelos, tíos, primos y amigos que estuvieron presentes en mi proceso de educación apoyándome en los momentos mas difíciles para continuar sin decaer a pesar de las adversidades que se presentaron al realizar el proyecto.

*Stefanny P.*

Este proyecto es una forma de agradecer a tantas personas, en primera instancia a Dios por darme la oportunidad de adquirir todos los conocimientos necesarios y la fuerza para realizar este proyecto satisfactoriamente y destacando lo importante, especial y enriquecedor que son las ramas de la Ingeniería Civil.

En segundo lugar agradezco a mi familia quienes me han brindado todo su apoyo, motivación, fortaleza por verme culminar este proyecto de la mejor manera y me han mostrado su mejor cara expresándonos su orgullo por lograr esta etapa tan importante de mi vida y me alientan cada día para seguir adelante luchando por un mejor futuro.

*Dalys F.*

No obstante, agradecemos a aquellas personas que están directamente involucrados en el proyecto, le damos las gracias por su paciencia y colaboración a los docentes Adán Silvestre, Sandra Rozo, Carlos Arenas y Daniel Lerma. Gracias a la Universidad Libre por ofrecernos su educación académica su apoyo y ética, por ofrecernos día a día una mejor educación.

## TABLA DE CONTENIDO

1. TÍTULO DEL PROYECTO.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3. JUSTIFICACIÓN .....	6
4. OBJETIVOS .....	7
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	7
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
5. MARCO REFERENCIAL .....	8
5.1 MARCO CONCEPTUAL .....	8
5.2 MARCO GEOGRÁFICO .....	12
5.3 MARCO DEMOGRÁFICO.....	20
5.4 MARCO HISTORICO.....	21
5.5 MARCO LEGAL .....	23
5.5.1 Reglamento colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10. ....	23
5.5.2 Plan de Ordenamiento Territorial P.O.T Cartago.....	23
5.5.3 Ley 388 de 1997 .....	23
5.5.4 Constitución Política de 1991 Artículo 2 .....	24
5.5.5 Decreto 93 de 1998 .....	24
5.6 TIPOS DE VIVIENDA EN COLOMBIA.....	25
5.6.1 Vivienda de Interés Social (VIS) .....	25
5.6.2 Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP).....	25
5.7 ANTECEDENTES.....	26
5.7.1 Casas Anfibias Flotantes en Holanda.....	26
5.7.2 Lift House Dhaka Bangladesh. ....	28
5.7.3 Construcción del Prototipo en Universidad Estatal de Louisiana (LSU).....	29
5.7.4 Spin off: Proyecto de Grado Universidad EAFIT de Medellín Colombia.	31
5.7.5 El Arca de Noé de Louisville Street, Lakeview, New Orleans.....	32
5.7.6 Casa Flotante “El Lower Ninth Ward”, en New Orleans .....	33
5.7.7 Metodologías constructivas. ....	35
5.7.8 Diseño del sistema en AUTOCAD.....	35
5.7.9 Diseño del sistema constructivo. ....	35
5.7.10 Tipos de inundación .....	39
5.7.11 Materiales para el sistema de flotación.....	40

5.7.12	Muelle flotante en Madera plástica .....	40
5.7.13	Diseño del sistema de flotación. ....	44
5.7.14	Diseño estructural .....	45
5.7.15	Estudio geotécnico.....	46
5.7.16	Diseño de la cimentación .....	46
5.7.17	Guías verticales .....	56
5.7.18	Diseño de guías verticales .....	57
5.7.19	Placa de base para columna.....	58
5.7.20	Zapata para guía vertical .....	62
5.7.21	Costos de producción del proyecto .....	63
6.	METODOLOGÍA.....	64
6.1	VARIABLES DEL PROYECTO .....	64
6.2	DISEÑO ARQUITECTÓNICO.....	65
6.3	DISEÑO CONSTRUCTIVO.....	65
6.4	DISEÑO DEL SISTEMA DE FLOTACIÓN.....	66
6.4.1	Tipo de inundación .....	66
6.4.2	Materiales para el Sistema de Flotación.....	66
6.4.3	Diseño del sistema flotante.....	67
6.4.4	Definición matemática mediante el principio de Arquímedes. ....	67
6.4.5	Simulación de la estructura flotante.....	67
6.5	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	69
6.4.1	Estudio Geotécnico .....	69
6.4.2	Diseño de la Cimentación.....	69
6.4.3	Diseño Guías Verticales .....	69
6.4.4	Placa de Base para Columna .....	70
6.4.5	Zapata para Perfil .....	70
6.4.6	Costos de la vivienda flotante contra inundaciones.....	70
7.	CALCULOS Y RESULTADOS .....	71
7.1	DISEÑO ARQUITECTONICO.....	71
7.2	DISEÑO CONSTRUCTIVO.....	72
7.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE FLOTACION.....	76
6.1.1	Cálculos flotación vivienda real .....	76
6.1.2	Diseño en ETABS vivienda real.....	80
6.1.3	Construcción prototipo flotante .....	83
6.1.4	Verificación del prototipo .....	88
6.1.5	Prototipo de la estructura flotante a escala .....	89
7.4	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	93

7.4.1 Vigas de cimentación .....	93
7.4.2 Diseño estructural de las guías verticales .....	101
7.4.3 Placa de base de anclaje para columna .....	102
7.4.4 Zapata para perfil HEA 220 .....	105
8. PRESUPUESTO .....	107
9. CONCLUSIONES.....	112
10. RECOMENDACIONES .....	113
11. BIBLIOGRAFIA .....	116

## LISTA DE TABLAS

1. Afectación causada por las inundaciones años 2010-2011	2
2. Delimitación del Municipio de Cartago	13
3. División Político Administrativa	14
4. Extensión de la cuenca del río la Vieja por departamentos y municipios que la conforman.	15
5. Resumen de la información climática de la cuenca del río la Vieja.	16
6. Población de Cartago Valle discriminada por áreas.	20
7. Combinaciones de carga en la dirección (X) y en la dirección (Y)	37
8. Resultados de ensayos realizados a la madera plástica REXCO.	43
9. Datos de diseño sistema liviano	72
10.A. Combinaciones de carga en la dirección Y. 10.B Combinaciones de carga en la dirección Y	73
11. Propiedades mecánicas para un perfil PHR 100*50*2-00	74
12. Verificación flexión Biaxial	74
13. Verificación de Cortante	74
14. Verificación arrugamiento del alma	75
15. Deflexión en dirección Y	75
16. Deflexión en dirección X	75
17. Parámetros muros	76
18. Carga en cada cercha principal de la estructura flotante.	78
19. Cuadro de resultados prototipo flotante	86
20. Parámetros del suelo.	93
21. Características de diseño	93
22. Definición de dimensiones y cargas en las vigas de cimentación	95
23. Distribución de cargas en vigas de cimentación	95
24. Datos para graficar el espectro de diseño	96
25. Datos de la estructura.	97
26. Propiedades del Perfil de acero HEA	102
27. Parámetros de diseño placa base de anclaje	103



## LISTA DE FIGURAS

1. Sectores más afectados de Colombia por la ola invernal entre el año 2010 y 2011.	3
2. Barrio Villa Juliana Inundado, Cartago 2011	5
3. Barrio Villa Juliana inundado, Cartago 2011	5
4. Ubicación de Cartago en el Departamento del Valle del Cauca.	12
5. Entorno Regional de Cartago.	13
6. Delimitación del Río La Vieja en el Municipio de Cartago.	14
7. Barrios y sectores de riesgo en Cartago Valle del Cauca. Tomada en Octubre de 2005.	17
8. Zonas de Amenaza Alta por Inundación Municipio de Cartago Valle del Cauca.	18
9. Zonas de Amenaza Baja por inundación Municipio de Cartago Valle del Cauca.	19
10. Barrio Villa Juliana	21
11. Barrio Guayacanes	21
12. Barrio Brisas del Río	22
13. Río la Vieja	22
14. Cimientos	26
15. Estructura flotante	26
16. Guías verticales	27
17. Vivienda sobre el terreno	27
18. Vivienda en la inundación	27
19. Vivienda flotante	27
20. Lift House	28
21. Estructura del prototipo de la LSU.	29
22. Guías verticales, Louisiana 2007	30

23. Prueba de flotacion	30
24. Casa Anfibia SPIN OFF	31
25. Prototipo de la vivienda	32
26. Vivienda de la la Fundación Make It Right (MIR).	33
27. Mapa de la figura B.6.4.1 de la NSR-10.	36
28. Muelle Flotante	41
29. Estructura del muelle	41
30. Armado de la estructura flotante para la base flotante.	42
31. Instalación de las canecas.	42
32. Base del muelle flotante.	42
33. Estructura para cubierta.	42
34. Tornillería en las uniones de la estructura.	42
35. Cerchas en madera plástica, para la cubierta.	42
36. Diagrama de cortante y momento	50
37. Sistema pilotes	56
38. Anillas fijas	56
39. Sistema con rodillos y perfil I	57
40. Zapata aislada	62
41. Curvas esfuerzo – deformación de materiales que presentan fracturas dúctil y frágil.	68
42. Plano arquitectónico de la propuesta del modelo de vivienda flotante	71
43. Diseño de estructura flotante	76
44. Diagrama de cuerpo libre	78
45. Estructura flotante en perfiles de madera plastica	80
46. Carga maxima a compresion en elemento de la estructura	81
47. Momento máximo a flexion en elemento de la estructura	82

48. Cortante máximo en elemento de la estructura	83
49. Prototipo del Sistema de flotación de la vivienda.	84
50. Prototipo flotante	85
51. Prototipo con peso	85
52. Peso a soportar	85
53. Prototipo sobre el terreno	85
54. Ensayo Losa flotante	85
55. Medición de parte sumergida	85
56. Representación gráfica del ensayo.	86
57. Diseño de prototipo a escala	92
58. Diseño vigas de cimentación en planta	94
59. Áreas de adherencia de las vigas de cimentación	94
60. Espectro elástico de Aceleraciones de diseño	96
61. Cortante sísmico en la base y fuerza sísmica del piso.	97
62. Diseño de acero transversal de la viga	100
63. Fuerza sísmica en el perfil HEA	101
64. Detalle de zapata aislada para perfil HEA	106

## LISTA DE ECUACIONES

1. Principio de Arquímedes	10
2. Momento alrededor del eje X	37
3. Momento alrededor del eje Y	37
4. Verificación flexión biaxial	38
5. Verificación por cortante	38
6. Deflexión en dirección Y	38
7. Deflexión admisible en dirección Y	38
8. Valor teórico de fuerza crítica a compresión	44
9. Esfuerzo a flexión de la madera plástica	45
10. Esfuerzo cortante de la madera plástica	45
11. Carga gravitacional	47
12. Peso propio de la viga	47
13. Carga muerta	48
14. Carga viva	48
15. Carga externa última mayorada	49
16. Momento externo último	49
17. Cortante externo	49
18. Capacidad Portante del Suelo	50
19. Aceleración espectral que le corresponde a la estructura.	51
20. Límite de periodos para la zona de dominio de la aceleración	51
21. Límite de periodos largos	52
22. Cortante sísmico basal para la estructura	52
23. Período de vibración fundamental aproximado	52

24. Coeficiente de distribución de fuerza sísmica para piso	53
25. Fuerza sísmica del piso	53
26. Cuantía mínima 1	53
27. Cuantía mínima 2	54
28. Cuantía balanceada	54
29. Área acero en tensión	54
30. Momento nominal resistente	54
31. Ancho de zona donde se aplica la fuerza	55
32. Fuerza de cortante contribuida por el concreto	55
33. Momento de la viga de acero	57
34. Deformación máxima viga de acero	57
35. Inercia	58
36. Esfuerzo del acero	59
37. Cortante sísmico basal para el perfil de acero	59
38. Presión de aplastamiento admisible	59
39. Área de la placa requerida	59
40. presión de aplastamiento debida a la carga	60
41. Proyección de la placa más allá de los extremos de las aletas	60
42. Proyección de la placa en dirección perpendicular	60
43. Presiones debajo de la aleta de la placa base	60
44. Espesor requerido de la placa base	61
45. Fuerzas a compresión y tensión en los pernos de la placa base	61
46. fuerza por perno	61
47. Área del perno	61

48. Esfuerzo del suelo para diseño de zapata	62
----------------------------------------------	----

## LISTA DE ANEXOS

A. Plano Urbanización Villa Juliana	119
B. Plano Arquitectónico vivienda del Barrio Villa Juliana.	120
C. Ensayo de compresión de la madera plástica REXCO.	121
D. Ensayo de flexión estática en vigas de polipropileno.	122
E. Ensayo de tensión de la madera plástica REXCO.	123
F. Ensayo de resistencia al cizallamiento de la madera plástica REXCO.	124
G. Tabla de Pre diseño de muros.	125
H. Detalle de placa base de anclaje.	126
I. Detalle de diseño estructural del proyecto.	127
J. Vivienda flotante sobre el terreno sin inundación.	128
K. Vista lateral de Vivienda flotante.	129
L. Interior de la vivienda contra inundaciones.	130
M. Vivienda contra inundaciones flotando.	131
N. Vista desde el fondo de la vivienda contra inundaciones flotando	132
O. Características de la vivienda flotante contra inundaciones	133
P. Plano sistema eléctrico.	134
Q. Plano sistema liviano	135

## RESUMEN

La presente investigación contiene la propuesta de un modelo de vivienda que resiste inundaciones para la problemática que se presenta en temporadas de invierno en Cartago valle del cauca, buscando mejorar las condiciones habitacionales de las personas afectadas y evitar las perdidas económicas resultantes de este fenómeno natural.

La propuesta consiste en definir los materiales adecuados para el sistema constructivo de la vivienda, proponer una estructura que permita la flotabilidad teniendo en cuenta que cambia de nivel dependiendo de la cota de inundación, determinar los costos de producción del modelo y realizar apropiados diseños como: arquitectónico, estructural y de flotación adaptados al barrio Villa Juliana de Cartago Valle del Cauca.

*Palabras claves:* inundaciones, flotabilidad, nivel de agua, diseño arquitectónico, estructura.

## **1. TÍTULO DEL PROYECTO**

PROPUESTA DE MODELO DE VIVIENDA FLOTANTE DE UN PISO COMO SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA POR INUNDACIÓN EN EL BARRIO VILLA JULIANA, LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE CARTAGO – VALLE DEL CAUCA.



## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante el segundo semestre de los años 2010 y 2011, el Fenómeno de La Niña<sup>1</sup> desencadenó lluvias intensas en gran parte del territorio nacional, situación que produjo el desbordamiento de ríos, deslizamientos, inundaciones, lo cual generó un impacto negativo a nivel social, ambiental y económico, con significativas pérdidas humanas y de viviendas. *“El 80% del territorio resultó afectado. Esto significa que 1.060 municipios en 29 departamentos, sufrieron las consecuencias por el exceso de lluvia, más de 400 personas murieron y cerca de un millón y medio de hectáreas se inundaron, destruyendo cultivos y áreas de pastoreo. Cerca de 2.400.000 personas resultaron damnificadas. Por lo menos 2 mil vías sufrieron daños así como cerca de 2 mil 300 edificaciones institucionales y unos 500 sistemas de acueducto”*<sup>2</sup>.

Dicha destrucción a la infraestructura habitacional impactó negativamente al país según información entregada por la (Corporación OSSO - 2011)<sup>3</sup>, pues durante el período de 2010 al 2011, se registraron 7.903 viviendas destruidas en el País y 76 en el Departamento del Valle del Cauca, como se presenta a continuación en la siguiente tabla donde se relacionan datos obtenidos por el Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres (SNPAD)<sup>4</sup> y la consolidada por el Registro Único de Damnificados (RUD).

Tabla 1. Afectación causada por las inundaciones años 2010-2011

AFECTACION CAUSADA POR LAS INUNDACIONES AÑOS 2010-2011							
Lugar	Personas	Heridos	Muertos	Desapa- recidos	Familias afectadas	Viviendas destruidas	Viviendas averiadas
Colombia	3.073.439	193	108	22	719.859	7.903	402.496
Valle del Cauca	173 002	12	14	2	35.961	76	29 655

Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Comisión económica para América latina y el Caribe (CEPAL).

<sup>1</sup> Fenómeno de la niña: Fenómeno natural de variabilidad climática derivada principalmente de un enfriamiento por debajo de lo normal de las aguas del Océano Pacífico tropical, central y oriental, frente a las costas de Perú, Ecuador y el sur de Colombia, que provoca un cambio en el patrón de comportamiento de los vientos y de las lluvias.

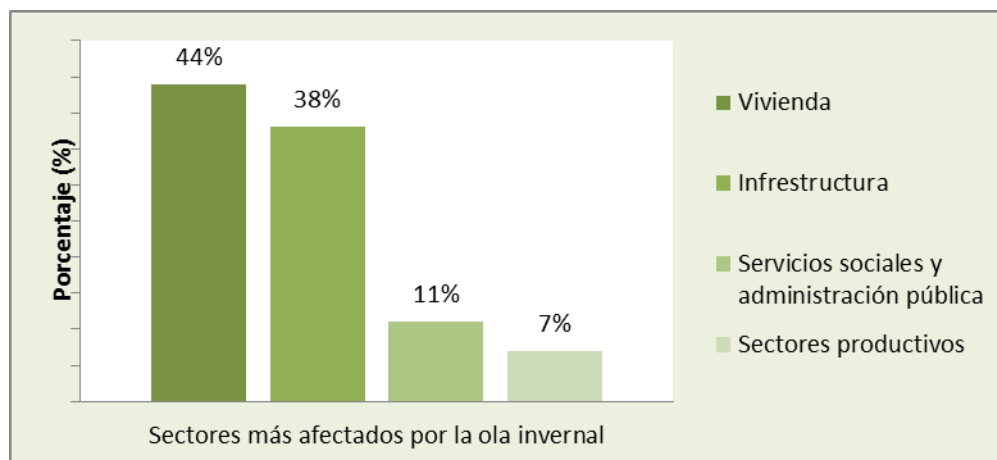
<sup>2</sup> La emergencia masiva más grande y prolongad. ¿Qué es Colombia Humanitaria? Colombia Humanitaria. <http://www.colombiahumanitaria.gov.co/Paginas/QueesColombiaHumanitaria.aspx>

<sup>3</sup> Corporación OSSO es una organización sin ánimo de lucro y de beneficio público (Resolución No. 17-A del 29 de febrero de 1996 del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA del Municipio de Cali), dedicada a "promover, apoyar y ejecutar investigaciones científicas, difusión y extensión de conocimientos, apropiación y desarrollo de metodologías y de tecnologías así como actividades afines, en los campos de la dinámica de la Tierra Sólida, de la Hidrósfera y de la Atmósfera, y de sus interacciones con la Sociedad". Su principal actividad es el apoyo del grupo de investigación Observatorio Sismológico del Suroccidente –OSSO.

<sup>4</sup> Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres (SNPAD), es el Conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias integradas, que tienen como objeto dar solución a los problemas de seguridad de la población que se presentan en su entorno físico por la eventual ocurrencia de fenómenos naturales o antrópico. [http://www.fopae.gov.co/portal/page/portal/FOPAE\\_V2/SNPAD](http://www.fopae.gov.co/portal/page/portal/FOPAE_V2/SNPAD).

En la siguiente Figura 1, se realiza una gráfica de los sectores más afectados a raíz de la ola invernal y donde se evidencia que el sector más afectado fue el de vivienda con un 44%.

Figura 1. Sectores más afectados de Colombia por la ola invernal entre el año 2010 y 2011.



Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Comisión económica para América latina y el Caribe (CEPAL).

Los costos de reparación de cada unidad habitacional con grado de afectación menor y parcial, para el área urbana, se estimaron en tres millones de pesos por unidad, representados en limpieza general, pintura, arreglo de puertas y ventanas, arreglo de tuberías o instalaciones eléctricas. (Caribe & CEPAL, 2012)<sup>5</sup>

Las viviendas fueron reubicadas, cuando los daños fueron mayores o cuando se encontraban en zona de riesgo no mitigable<sup>6</sup>, con un costo promedio por cada una (solución de vivienda nueva) de 32 millones de pesos, que incluye lote, obras de urbanismo y construcción. (Caribe & CEPAL, 2012)

La anterior información muestra cómo en cualquier escenario el costo de solución a la problemática por inundación es elevado, Desde el contexto donde los ingresos per cápita diarios en Colombia por habitante son de \$13.179,6 resultantes de dividir el producto interno Bruto entre la cantidad de habitantes del país. y para un país como el nuestro constituye la necesidad de endeudamiento con la banca internacional, aumentando así nuestra deuda externa.(Caribe & CEPAL, 2012)

<sup>5</sup> Caribe, C. E. p. A. L. y. e., & CEPAL. (2012). Informe, Valoración de daños y pérdidas. Ola Invernal en Colombia, BID 2010-2011. Bogotá.

<sup>6</sup> Zona de Riesgo No Mitigable: Son aquellos sectores con características de amenaza y vulnerabilidad, en donde existe una alta probabilidad de que se presenten pérdidas de vidas humanas, pérdidas bienes e infraestructura cuando se presente una emergencia. En estas zonas la mitigación no es viable porque las características técnicas, económicas y ambientales no lo permiten

El valor total relacionado con los daños del sector de vivienda en el país generó pérdidas económicas por más de \$4.302.634. Según información del Registro Único de Damnificados (RUD, 2012), Colombia presentó 410.399 viviendas afectadas, de las cuales 241.567 (58,86%) se ubican en áreas urbanas. (Caribe & CEPAL, 2012)

Por otro lado y situándonos en el contexto regional, La Ola Invernal 2010-2011 en el departamento del valle del cauca arroja un total de 156.000 personas damnificadas, 30.652 hogares afectados, 27.027 viviendas sufrieron daños, de las cuales 15.593 permanecieron en condiciones habitables, 10.613 quedaron en condiciones no habitables y destruidas o colapsadas 821 viviendas en todo el departamento. (Coordinador de Proyectos de Reconstrucción y Adaptación del Valle del Cauca).<sup>7</sup>

Específicamente en el municipio de Cartago Valle del Cauca, durante la ola invernal por el desbordamiento del río La Vieja al menos 10 barrios resultaron anegados por la inundación donde existían viviendas ubicadas en zona de riesgo hidrológico<sup>8</sup>, de las cuales 45 familias que vivían a la orilla de este río fueron reubicadas por Colombia Humanitaria<sup>9</sup> en programas directos de reconstrucción de vivienda. En este sentido es evidente la omisión de la Ley 388 de 1997 la cual exige definir la clasificación y uso de los suelos urbanos, la expansión urbana y rural, mediante el establecimiento de áreas de protección ambiental y de riesgo, ya que estas viviendas se hallaban en zonas de riesgo por inundación, derrumbes y fallas geológicas. (País, 2010).<sup>10</sup>

Algunos de los barrios de Cartago sufren por el desbordamiento del Río la Vieja, tales como: La Platanera, Brisas del Río, La Arenera, Los Alpes, Guayacanes, entre otros (Guzmán, 2011).<sup>11</sup> En el caso específico del barrio Villa Juliana, donde el nivel de anegación fluvial estuvo entre 2,10 metros y 1,25 metros de altura aproximadamente.

En las siguientes Figuras, se puede observar la afectación de las viviendas por las inundaciones en el barrio Villa Juliana en el Municipio de Cartago en Diciembre de 2011.

---

<sup>7</sup> Coordinador de Proyectos de Reconstrucción y Adaptación del Valle del Cauca. <http://www.valledelcauca.gov.co/asamblea/publicaciones.php?id=17243>

<sup>8</sup> Riesgo Hidrológico: Es la amenaza causada por las corrientes de agua como cuencas o subcuencas de ríos y quebradas relativas que se pueden definir por las características de los coeficientes del desagüe hidráulicos y tiempos de confluencia de las aguas y que consecuentemente pueden ocasionar grandes caudales y crecidas de estos volúmenes.

<sup>9</sup> Colombia Humanitaria es una estrategia Nacional para atender las emergencias Sociales, Económicas, Ambientales y Naturales de País, creada en Noviembre de año 2010 por el Presidente Juan Manuel Santos, como consecuencia de la Emergencia Nacional que desbordó las capacidades del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

<sup>10</sup> País, E. (2010). Invierno en el Valle. Zonas más afectadas. <http://www.elpais.com.co/elpais/especiales/invierno/index.html>

<sup>11</sup> Guzmán, J. L. (2011). Invierno provoca fuertes inundaciones en Obando y Cartago, Valle, El País.

Figura 2. Barrio Villa Juliana Inundado  
Cartago 2011



Figura 3. Barrio Villa Juliana inundado  
Cartago 2011



Con el cambio climático y el recrudecimiento del fenómeno de la Niña, las inundaciones se han hecho más frecuentes en Cartago y el valle del Cauca, Auspiciado además por la gran riqueza hídrica y el inadecuado desarrollo urbano del municipio, se vive en constante tragedia presentándose eventos particularmente graves, como los ocurridos en el 2010 y el 2011. Los recursos del estado se gastan en continuas reconstrucciones y ayudas para víctimas de estos fenómenos; en este sentido si las inundaciones en el municipio representan eventos a los que solo la planificación urbana integral y el adecuado manejo de proyectos de infraestructura con ingeniería hidráulica apropiada para el manejo del río la vieja son las únicas propuestas clásicas para mitigar los factores de vulnerabilidad.

Es necesario que exista una política Nacional que propenda por diseñar alternativas diferentes o soluciones in situ, donde la reubicación de viviendas no es una opción por las condiciones geográficas y morfológicas de sectores de planicies y valles; De allí que se pone de manifiesto la necesaria colaboración y aporte de la ingeniería civil para la planificación y ejecución de modelos habitacionales que impulsen el desarrollo sustentable del país, a fin que la sociedad aprecie su accionar en todos los elementos de la vida diaria, tal es el caso del principio de la elevación y o flotación donde la unidad de vivienda proporciona su autoprotección contra inundaciones.

Dada esta determinante en Colombia se propone como solución una nueva forma de gestión de los ríos, las quebradas, los cuerpos de agua y el riesgo hidrológico no como una problemática si no como una condición para que estudiantes, profesionales, empresas, entidades y organizaciones, conciban modelos habitacionales alternativos donde la elevación o flotación mediante estructuras verticales y elementos flotantes proporcionen un método que traslade los espacios de vida de la estructura por encima del nivel de inundación o a una elevación de protección contra inundaciones.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La experiencia vivida en Colombia tras el paso de la ola invernal presentado durante el año 2008 al 2011 es objeto de alternativas para la disminución de la vulnerabilidad frente a esta problemática. Implica que se tenga una visión de largo plazo, acumulativa, transformadora, construida de múltiples decisiones y acciones del presente encaminadas a la disminución del riesgo por inundación.

Los daños relacionados al sector de vivienda, los costos de reparación de vivienda, la reubicación de las personas afectadas en el municipio de Cartago y el resto del país; las dificultades económicas para la consecución de nuevos predios, los altos costos para la implementación de proyectos de vivienda que perpetúan las problemáticas sociales y de planificación, los fenómenos de periferia y que las personas permanezcan en zonas con riesgo hidrológico; obligan contundentemente a la búsqueda de soluciones alternativas in situ.

Las inundaciones son fenómenos de la naturaleza en muchos casos ocasionados por el hombre, debido al urbanismo deficiente y al crecimiento descontrolado de las ciudades. En los municipios estos fenómenos son más notorios por las consecuencias sociales y económicas que conllevan: pérdidas humanas, pérdidas de bienes inmuebles y enseres, grandes daños ambientales y naturales, generación de altos gastos en apoyo a damnificados, inversiones de recuperación, graves descensos en la economía municipal y el comercio; incrementos en el valor de los precios de los productos de la canasta familiar, incrementos en las pólizas seguros y el descontento o incertidumbre social por el temor a que se repita la tragedia.

Todas estas razones hacen que la ingeniería se incline por hallar una solución o un modelo que permita manejar el contexto de las inundaciones en el Municipio de Cartago, Valle del Cauca y de Colombia de una manera diferente; En contraposición al modelo clásico, y aún actual, que busca inicialmente la acción directa contra los ríos, quebradas y cuerpos de agua que en cierta manera representan la acción directa sobre la amenaza, pero que no presentan una solución definitiva ante el riesgo hidrológico de este tipo.

De allí que se debe surgir desde la ingeniería una nueva actuación alternativa en materia de la forma como está concebido el modelo habitacional en estos lugares con condiciones de planicie y valle; que siempre estarán condicionados por episodios de inundaciones, un esquema de vivienda que permita concebir los principios de elevación y flotabilidad ante una amenaza; que abatan y disminuyan la vulnerabilidad como condicionante y el riesgo hidrológico, Además añada valor económico e inmobiliario a las edificaciones e insista en mejorar la calidad en la relación del hombre con su entorno, la naturaleza y el paisaje.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un modelo de vivienda de un piso que resista inundaciones para la problemática que se presenta en temporada de invierno en el Barrio Villa Juliana del Municipio de Cartago Valle del Cauca.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Definir los materiales necesarios y adecuados para la propuesta del modelo de vivienda de un piso.

Proponer una estructura que permita la flotación al modelo de vivienda.

Determinar los costos de producción de la estructura propuesta.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 MARCO CONCEPTUAL

**Cubierta:** Estructura de cierre superior, que sirve como cerramiento exterior, cuya función fundamental es ofrecer protección al edificio contra los agentes climáticos y otros factores, para resguardo, darle intimidad, aislación acústica y térmica, al igual que todos los otros cerramientos verticales.<sup>12</sup>

**Damnificados:** Personas y familias afectadas por un desastre o sus consecuencias. Dichos sujetos experimentan un evento estresante e inesperado. Por lo común, se supone que la mayoría han venido funcionando adecuadamente antes de la catástrofe pero su capacidad de resolución de problemas se ve limitada por el estrés de la situación.<sup>13</sup>

**Diseño:** Proceso físico que se usa para la producción de un nuevo objeto y permitir la comodidad de la población. El momento del diseño implica una representación mental y la posterior realización de dicha idea en algún formato gráfico (visual) para exhibir cómo será la obra que se planea realizar. El diseño, por lo tanto, puede incluir un dibujo o trazado que anticipe las características de la obra.<sup>14</sup>

**Eco-materiales:** La palabra eco-materiales fue creado por (ECOSUR en 1991),<sup>15</sup> para denominar los materiales viables económica y ecológicamente. Los eco materiales promueven el uso de tecnologías tradicionales utilizando materiales locales, pero también nuevas interpretaciones y desarrollos, sin embargo a veces es difícil encontrar métodos y costumbres tradicionales en los lugares, ya que la propaganda para productos industriales ha marginado muchas soluciones populares.<sup>16</sup>

**Flotabilidad:** Capacidad que tiene cualquier cuerpo de sostenerse sin hundirse dentro de un fluido<sup>17</sup>. La flotabilidad de un cuerpo dentro de un fluido estará determinada por las diferentes fuerzas que actúen sobre el mismo y el sentido de las mismas. La flotabilidad es positiva cuando el cuerpo tienda a ascender dentro del fluido, es negativa cuando el cuerpo tiende a descender dentro del fluido, y

---

<sup>12</sup> Manual Técnico de Construcción. Casa Pronta Elementos Constructivos. Sistema Constructivo. Rev. 01 Agosto 2011. Pág. 4. [http://www.casapronta.com.bo/uploads/files/manual\\_tecnico-CP.pdf](http://www.casapronta.com.bo/uploads/files/manual_tecnico-CP.pdf)

<sup>13</sup> Manual de la Atención de Salud Mental para Víctimas de Desastres (OPS, 1990). <http://helid.digicollection.org/es/d/Jops28s/4.4.html>

<sup>14</sup> Los diccionarios y las enciclopedias sobre el Académico. Diseño. <http://www.esacademic.com/searchall.php?SWord=DISE%C3%B1o&from=es&to=xx&submitFormSearch=Buscar&stype=0>

<sup>15</sup> ECOSUR, la red del hábitat ecológico y económico. Es una organización que se dirige al gran déficit habitacional en los países del sur, especialmente a la gran mayoría de personas que no tienen vivienda adecuada, ya sea por medio de proyectos de vivienda social con materiales de construcción producidos localmente (Eco Materiales) y diseñados para resistir los desastres naturales o por medio de investigación continua que conecta la ciencia con la práctica.

<sup>16</sup> Los diccionarios y las enciclopedias sobre el Académico. Ecomateriales. <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/399218>

<sup>17</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Flotabilidad>

es neutra cuando se mantiene en suspensión dentro del fluido. La flotabilidad viene establecida por el Principio de Arquímedes<sup>18</sup>, y si el cuerpo fuera de naturaleza compresible su flotabilidad se verá modificada al variar su volumen según la Ley de Boyle-Mariotte.<sup>19</sup>

**Inundaciones:** Se conoce como inundación, al fenómeno natural, por el cual el agua cubre los terrenos, llegando en ciertas ocasiones a tanta altura que puede dejar sumergidas viviendas, automotores, anegar calles, destruir cosechas, con peligro, incluso vital, para todos los seres vivientes que habitan el lugar, y enormes pérdidas económicas.<sup>20</sup>

**Madera:** Sustancia dura y fibrosa de la corteza de los árboles, su principal aplicación se presta en el campo de la construcción; la madera se ha usado como material para la edificación desde tiempos antiguos, debido a su ductilidad y aislamiento. Como muestra de ello está el edificio más antiguo de madera en pie tiene unos 1400 años el Hōryū-ji (Templo de la Ley Floreciente) en Japón<sup>21</sup>

**Madera plástica:** Material resultado de un proceso industrial de los plásticos de desecho, tiene características físicas muy similares a la madera natural y es resistente a la corrosión, al agua y a la intemperie. La madera plástica tiene alta resistencia mecánica y estabilidad dimensional y es libre de mantenimiento. Su movimiento flector casi que imperceptible debido a su diseño estructural de escaso peso y maniobrabilidad. Es importante tener en claro conceptos que a lo largo del trabajo se requieren para el desarrollo del mismo. La madera plástica ayuda en el proceso de conservación de la naturaleza porque puede sustituir en muchas aplicaciones donde no se justifica sacrificar un invaluable recurso como es la madera natural.

**Muelle:** Obra a la orilla del mar, de un río o en un desnivel de terreno que facilita el embarque o la carga y descarga de barcos<sup>22</sup>

**Plástico reciclado:** Los desechos plásticos no son susceptibles de asimilarse de nuevo en la naturaleza. Debido a esto, se ha establecido el reciclado de tales productos de plástico, que ha consistido básicamente en recolectarlos, limpiarlos, seleccionarlos por tipo de material y fundirlos de nuevo para usarlos como materia prima adicional, alternativa o sustituta para el moldeado de otros productos.

---

<sup>18</sup> Arquímedes (Siracusa (Sicilia), 287 a.C. – 212 a.C.) fue un matemático griego, físico, ingeniero, inventor y astrónomo. Aunque se conocen pocos detalles de su vida, es considerado uno de los científicos más importantes de la antigüedad clásica. Entre sus avances en física se encuentran sus fundamentos en hidrostática.

<sup>19</sup> Robert Boyle y Edme Mariotte. Ambos llegaron, cada uno por su lado, a la conclusión de que la presión y el volumen de un gas son inversamente proporcionales si se mantiene constante su temperatura.

<sup>20</sup> <http://prezi.com/utrx1yxpm6oq/inundaciones/>

<sup>21</sup> Hōryū-ji (*Templo de la Enseñanza Ley Floreciente*) es un templo budista localizado en Ikaruga, prefectura de Nara, Japón, el templo es muy conocido por poseer las edificaciones de madera más antiguas en el mundo y sirve como un monasterio, es el más venerado en Japón. En 1993, fue designado como Patrimonio de la Humanidad de la Unesco y el gobierno japonés lo ha nombrado como un Tesoro Nacional.

<sup>22</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Muelle>.



De esta forma la humanidad ha encontrado una forma adecuada para evitar la contaminación de productos que por su composición, materiales o componentes, no son fáciles de desechar de forma convencional.<sup>23</sup>

**Principio de Arquímedes:** Es el principio físico que afirma que: «Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja». Esta fuerza recibe el nombre de empuje hidrostático o de Arquímedes, y se mide en Newtons (N), y se formula así:

$$Fe = W_{desalojado} = \rho_{agua} \times g \times V_{desalojado} \quad (\text{Ecu. 1})$$

Dónde:

Fe: Es el empuje

$\rho_{agua}$ : Es la densidad del agua.

v: El volumen de fluido desplazado por algún cuerpo sumergido parcial o totalmente en el mismo

g: La aceleración de la gravedad

$W_{desalojado}$ : La masa, de este modo, el empuje depende de la densidad del fluido, del volumen del cuerpo y de la gravedad existente en ese lugar.<sup>24</sup>

**Reciclar:** Tecnología de someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para incrementar los efectos de este. Formación generalmente complementaria que recibe los cuadros técnicos.<sup>25</sup> Es un proceso por el cual, materiales de desecho, vuelven a ser introducidos en el proceso de producción y consumo, devolviéndoles su utilidad. No todos los residuos pueden reciclarse, pero reciclar lo que es susceptible de ello, que es más del 90 % de nuestros desperdicios, elimina gran parte de los residuos del planeta, lo que representa un gran triunfo en la lucha contra la contaminación ambiental y la mejora de nuestro hábitat. El reciclado de papel, por ejemplo, evita la tala indiscriminada de árboles, que se usan con ese fin; y el reciclaje del plástico significa un gran ahorro energético.<sup>26</sup>

**Tanques verticales:** Contenedor fabricado en un material de polietileno de alta resistencia, es protegido con aditivos y estabilizadores a la radiación ultravioleta, para uso a la intemperie.<sup>27</sup>

**Hidrocarburos:** Son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Los hidrocarburos extraídos directamente de formaciones

<sup>23</sup> Plástico. <http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>.

<sup>24</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_Arqu%C3%ADmedes](http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Arqu%C3%ADmedes).

<sup>25</sup> Definiciones. Diccionario de la lengua alkona. <http://www.diclib.com/reciclar/show/es/alkonageneral/R/4785/1140/12/20/84033#.Uj-d34ZWYSo>.

<sup>26</sup> Definición de Reciclar <http://deconceptos.com/ciencias-sociales/reciclaje#ixzz2fg9gfzRT>

<sup>27</sup> <http://www.ecowaysolutions.com/contenedores-verticales.html>

geológicas en estado líquido se conocen comúnmente con el nombre de petróleo, mientras que los que se encuentran en estado gaseoso se les conoce como gas natural.<sup>28</sup>

**Polímeros:** La materia está formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros. Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. Algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales. Existen polímeros naturales de gran significación comercial como el algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel. La seda es otro polímero natural muy apreciado y es una poliamida semejante al nylon. La lana, proteína del pelo de las ovejas, es otro ejemplo. El hule de los árboles de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes. Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases.<sup>29</sup>

**Zona de Riesgo No Mitigable:** Son aquellos sectores con características de amenaza y vulnerabilidad, en donde existe una alta probabilidad de que se presenten pérdidas de vidas humanas, perdidas bienes e infraestructura cuando se presente una emergencia. En estas zonas la mitigación no es viable porque las características técnicas, económicas y ambientales no lo permiten.<sup>30</sup>

---

<sup>28</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrocarburo>

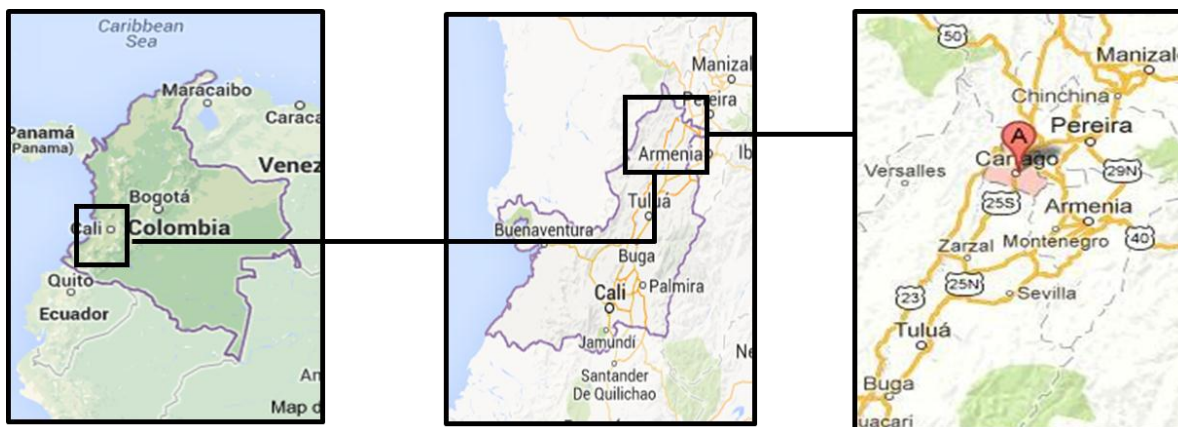
<sup>29</sup> ¿Qué son los polímeros? <http://www.textoscientificos.com/polimeros/introduccion>.

<sup>30</sup> Medidas para la Reducción del Riesgo. <http://www.fopae.gov.co/portal/page/portal/fopae/remocion/medidas>.

## 5.2 MARCO GEOGRÁFICO

Cartago es un municipio pequeño del Valle del Cauca ubicado al norte del Departamento como se expone en la figura 4, se encuentra en medio de la cordillera Central y Occidental en la Región Andina de Colombia, por la ciudad pasan muy cerca el río Cauca y paralelo al municipio el río La Vieja. El municipio de Cartago se encuentra ubicada en la latitud  $4^{\circ}44' N$  y longitud  $74^{\circ}54' O$ . Cartago fue fundada por el Mariscal Jorge Robledo el 9 de Agosto de 1540, en nombre del Rey de España Felipe II; se reconoció como municipio desde 1916. Su nombre se debe a que casi todos los compañeros de Jorge Robledo eran oriundos de Cartagena (España). (Plan de Atención Integral a la Primera Infancia, Municipio de Cartago Valle del Cauca)<sup>31</sup>

Figura 4. Ubicación de Cartago en el Departamento del Valle del Cauca.



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cartago\\_\(Valle\\_del\\_Cauca\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Cartago_(Valle_del_Cauca))

El territorio es plano y ligeramente ondulado. Tiene un área total de 279 Km<sup>2</sup>, su altitud es de 917 m.s.n.m. La temperatura promedio es de 26 Grados Centígrados ("Cartago," 2007).<sup>32</sup>

Las principales fuentes económicas del municipio de Cartago son: la agricultura, la ganadería, el comercio, el turismo y la industria; se cultiva algodón, soya, caña de azúcar y frijol; es epicentro ganadero y su principal atractivo turístico es la industria de los bordados a mano. El 9.1% de los establecimientos se dedican a la Industria; el 56.4% al comercio; el 33.5% a servicios y el 1.1% a otra actividad. (Plan de Atención Integral a la Primera Infancia, Municipio de Cartago Valle del Cauca).

<sup>31</sup> El plan de Atención Integral a la Primera Infancia de Cartago se fundamenta en principios que orientan la construcción, implementación y seguimiento del proceso de atención con calidad de los niños (as) menores de 5 años del Municipio. [http://www.colombiaaprende.edu.co/html/familia/1597/articulos-305953\\_cartago.pdf](http://www.colombiaaprende.edu.co/html/familia/1597/articulos-305953_cartago.pdf)

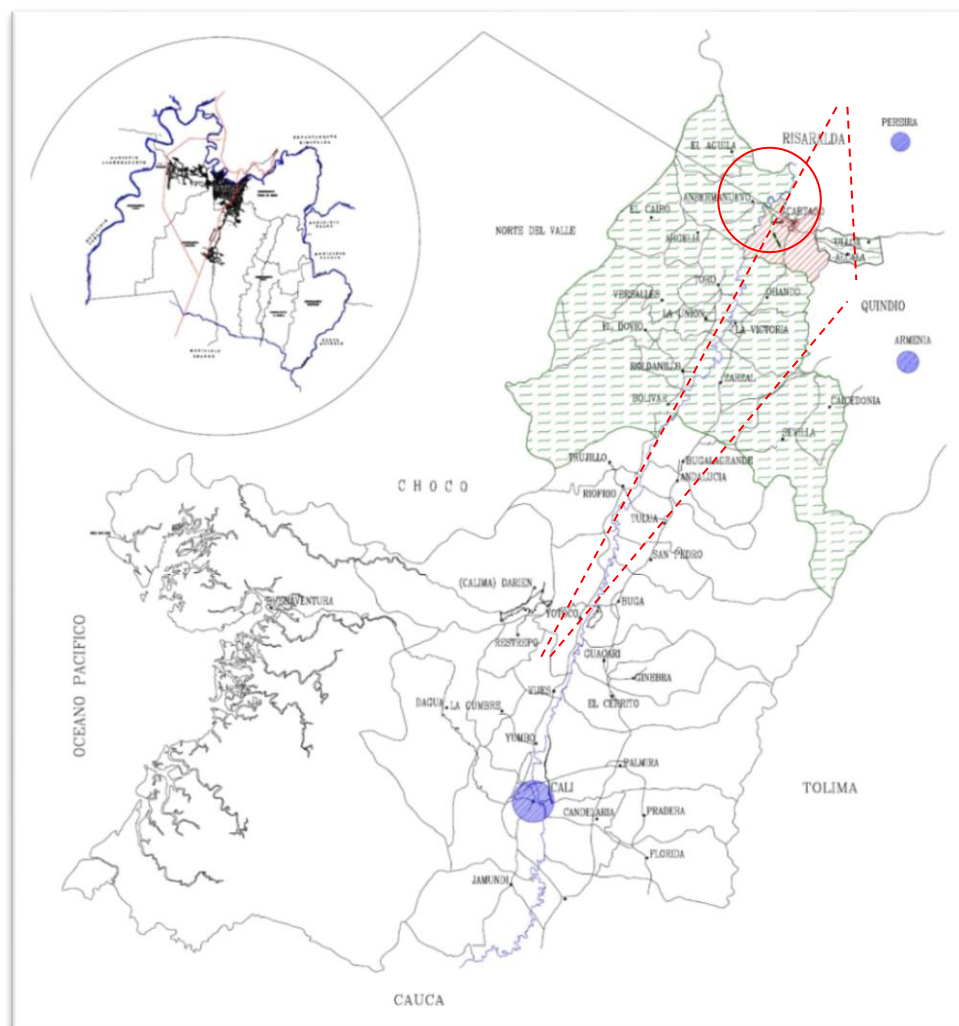
<sup>32</sup> Cartago. (2007). <http://es.wikipedia.org/wiki/Cartago>.

La siguiente Tabla 2, se presenta la delimitación del municipio de Cartago y en la Tabla 3, se puede observar la División Político Administrativa. (ACUERDO No. 005 de 2012, Mayo 30. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2012- 2015).<sup>33</sup>

Tabla 2. Delimitación del Municipio de Cartago.

<b>Por el Norte:</b>	Con el Municipio de Pereira
<b>Por el Sur:</b>	Con el Municipio de Oando
<b>Por el Oriente:</b>	Con los Municipios de Ulloa, Alcalá y Quimbaya
<b>Por el Occidente:</b>	Con los Municipios de Anserma nuevo y Toro

Figura 5. Entorno Regional de Cartago.



Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial Cartago (Valle del Cauca)

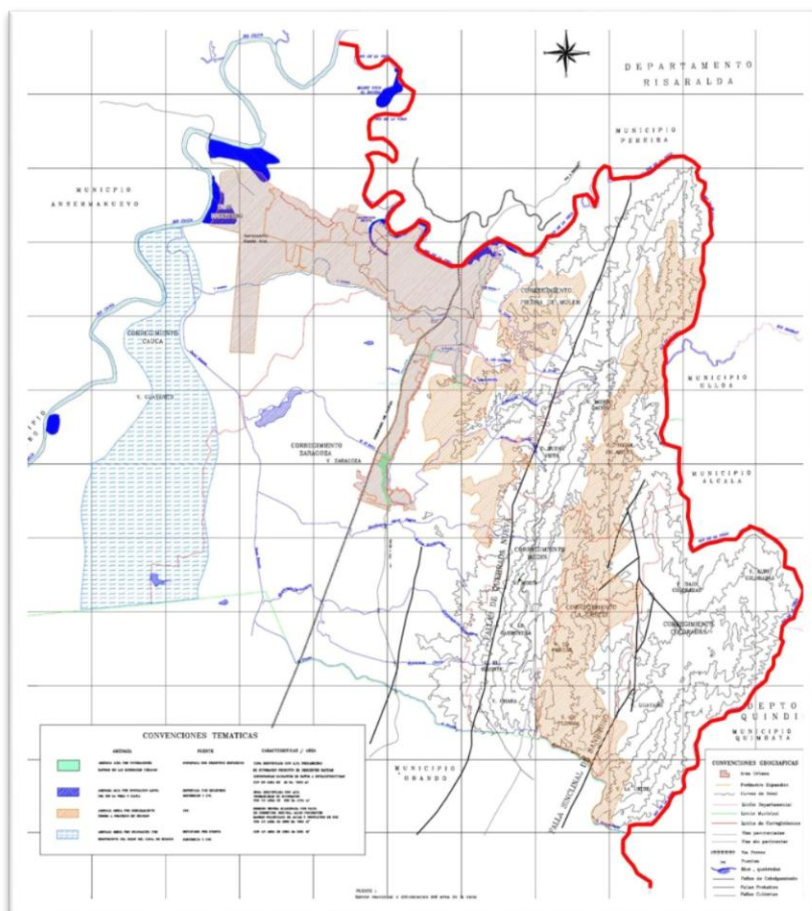
<sup>33</sup> Plan de Desarrollo Municipal 2012- 2015. "Cartago Moderna, Competitiva e Incluyente" ALVARO CARRILLO, Alcalde Municipal. Departamento del Valle del Cauca Municipio de Cartago. ACUERDO No. 005 de 2012. Mayo 30

Tabla 3. División Político Administrativa:

Zona Urbana	Zona Rural
Comunas 7	Centros Poblados 3
Zona Urbana Especial 1	Corregimientos 6

El río la Vieja se forma por la confluencia de los ríos Barragán y Quindío, sitio a partir del cual estas dos corrientes pierden su nombre original; es uno de los principales tributarios del río Cauca y su cuenca hidrográfica está ubicada en el centro-occidente de Colombia. Geográficamente se enmarca dentro de las coordenadas: 4°04' y 4°49' de Latitud norte y 75°24' y 75°57' de Longitud oeste. Es preciso anotar que el caudal del río la Vieja es 94,36 m<sup>3</sup>/s. (Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja)<sup>34</sup>

Figura 6. Delimitación del Río La Vieja en el Municipio de Cartago.



Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial Cartago (Valle del Cauca)

<sup>34</sup> Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja-“El Rejuvenecer de La Vieja” - Resumen Documento Plan 2008, Pág. 33

En la siguiente Tabla 4, se observa la extensión de la cuenca del río la Vieja por departamentos y municipios que la conforman.

Tabla 4. Extensión de la cuenca del río la Vieja por departamentos y municipios que la conforman.

DEPARTAMENTOS	ÁREA			MUNICIPIOS
	Km <sup>2</sup>	Ha	%	
Quindío	1961,83	196,183	68	Armenia, Buenavista, Calarcá, Circasia, Córdoba, Filandia, Génova, La Tebaida, Montenegro, Pijao, Quimbaya y Salento.
Risaralda	298,86	29,886	10	Pereira
Valle	619,45	61,945	22	Alcalá, Caicedonia, Cartago, La Victoria, Obando, Sevilla, Ulloa y Zarzal.
<b>Total</b>	<b>2880,14</b>	<b>288,014</b>	<b>100</b>	<b>21</b>

Fuente: Equipo Operativo del POMCH río La Vieja con base en SIG CARs.

La extensión total de la cuenca es de 2.880.14 km<sup>2</sup>, perteneciéndole al Valle del Cauca el 22%, con (619,45 km<sup>2</sup>).

En la Cuenca se distinguen tres grandes paisajes: Montaña, Piedemonte y Valle. En el paisaje de montaña se presentan valles estrechos en forma de (V) donde prevalecen los procesos de desbordamiento. En el de Piedemonte, con menores pendientes, se presentan valles sobre el abanico disectado donde ocurren procesos de desbordamiento e inundación localizadas; y, en el paisaje de valle, con pendientes entre 0% y 3%, se favorece el proceso de inundación. (Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja)<sup>35</sup>

De acuerdo a un mapa de Isoyetas generado con registros y medidas en toda la cuenca con series de 1951 hasta 2005, se puede obtener en el área del departamento del Valle, localizada al occidente una precipitación media del río la Vieja de 1900 mm/año. Acorde a una información obtenida por el equipo operativo del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río la Vieja se elaboró la siguiente Tabla 5 con el resumen de la información climática de la Cuenca. (Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja)<sup>36</sup>

La cuenca se caracteriza por poseer diversidad de pisos térmicos, los cuales van desde el subnivel al cálido, con una parte del territorio con clima medio, húmedo transicional a medio y seco localizado al occidente cerca al cauce del río La Vieja.

<sup>35</sup> Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja-“El Rejuvenecer de La Vieja” - Resumen Documento Plan 2008, Pág. 36

<sup>36</sup> Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja-“El Rejuvenecer de La Vieja” - Resumen Documento Plan 2008, Pág. 41

Tabla 5. Resumen de la información climática de la cuenca del río la Vieja.

CLIMA ELEMENTOS	S-P SUB-NIVAL Y PLUVIAL	EF-P/MF-P PARTE ALTA	F-MH/M-MH PARTE MEDIA	SECO MH PARTE BAJA
Altura m.s.n.m	4800 - 4000	4000 - 3000	3000 - 1300	1300 - 950
Pluviosidad (mm)	2200	2400	2600	1900
Temperatura (C°)	1,5 - 6,0	6 - 12	12 - 18	18 - 24
Evapotranspiración (mm/día)	1,5 (550 mm/año)	2,0 (730 mm/año)	3,0 (1095 mm/año)	4,5 (1640 mm/año)
Humedad relativa (%)	93	91	86	80
Brillo solar (H/año)	390	730	1280	1825

Fuente: Equipo Operativo POMCH río la Vieja.

Según el Sistema climático basado en pisos térmicos y condiciones de humedad aplicado por el IGAC, en la Cuenca se encuentran los siguiente Climas:

- Clima Subnival y Pluvial S-P
- Clima Extremadamente Frío y Pluvial EF-P
- Clima Muy frío y pluvial MF-P
- Clima Frío y Muy Húmedo F-MH
- Clima Medio, Húmedo y Muy Húmedo M-MH
- Clima Medio, Húmedo Transicional a Medio, Seco MH

La siguiente Figura 7, es un plano cartográfico por altimetría y foto control del Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Cartago (IGAC), donde se muestra las zonas que periódicamente han sido anegadas fluvialmente, resaltando las zonas al margen del Río la Vieja, que han sufrido los embates de las inundaciones, especialmente barrios que han sido construidos en los últimos 30 años producto de una desviación del Río y aprovechamiento de terreno para la construcción.

Es preciso anotar que la zona con el numeral 1 dibujado en la Figura 7, es el barrio Villa Juliana y Guayacanes, el cual se puede observar que las viviendas se encuentran muy cerca al RIO LA VIEJA aproximadamente a unos 20 metros, teniendo en cuenta que la margen de protección o zona de amortiguación es de 50 metros de la margen del río.



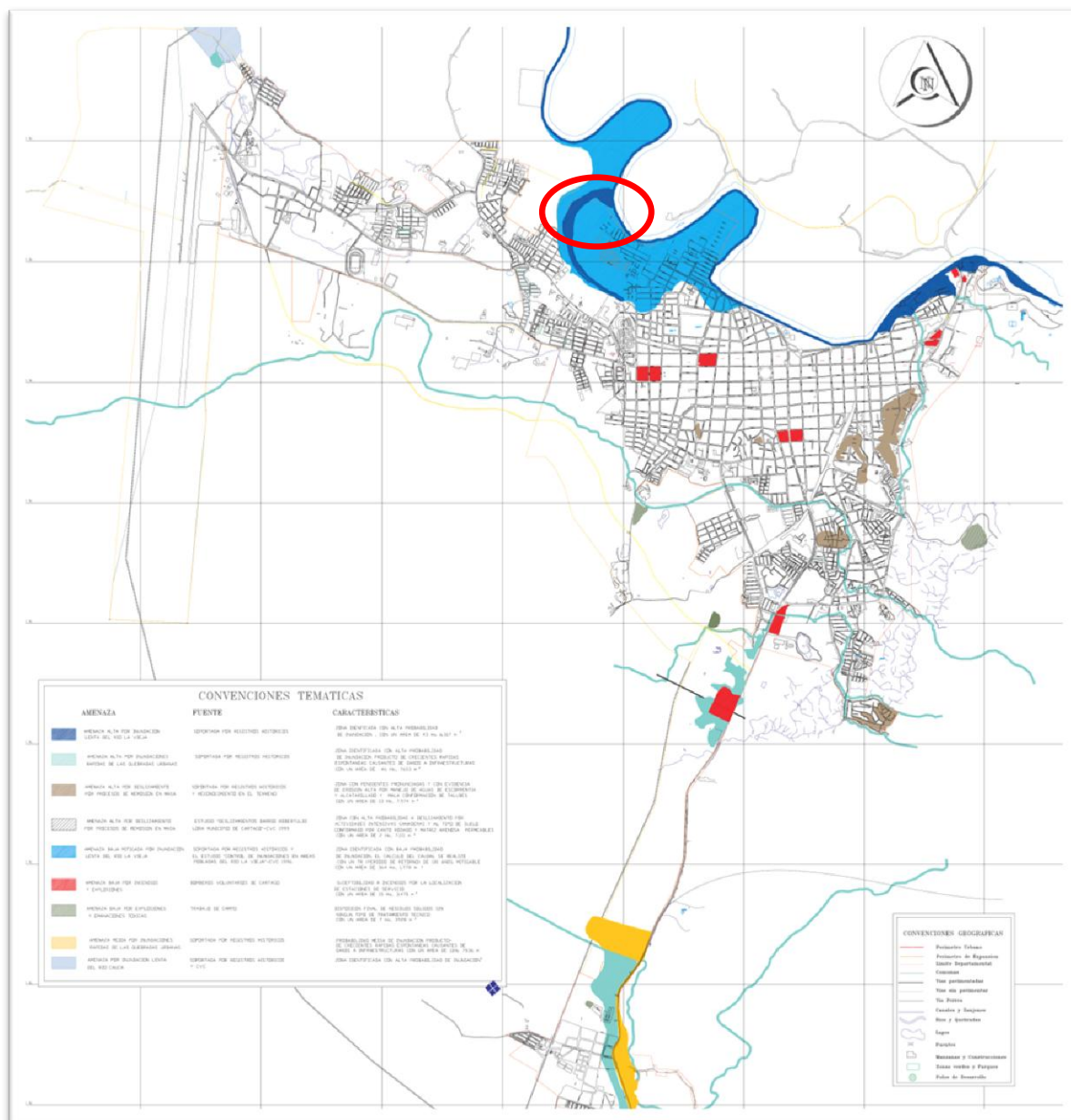
Figura 7. Barrios y sectores de riesgo en Cartago Valle del Cauca. Tomada en Octubre de 2005.



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Cartago (IGAC).

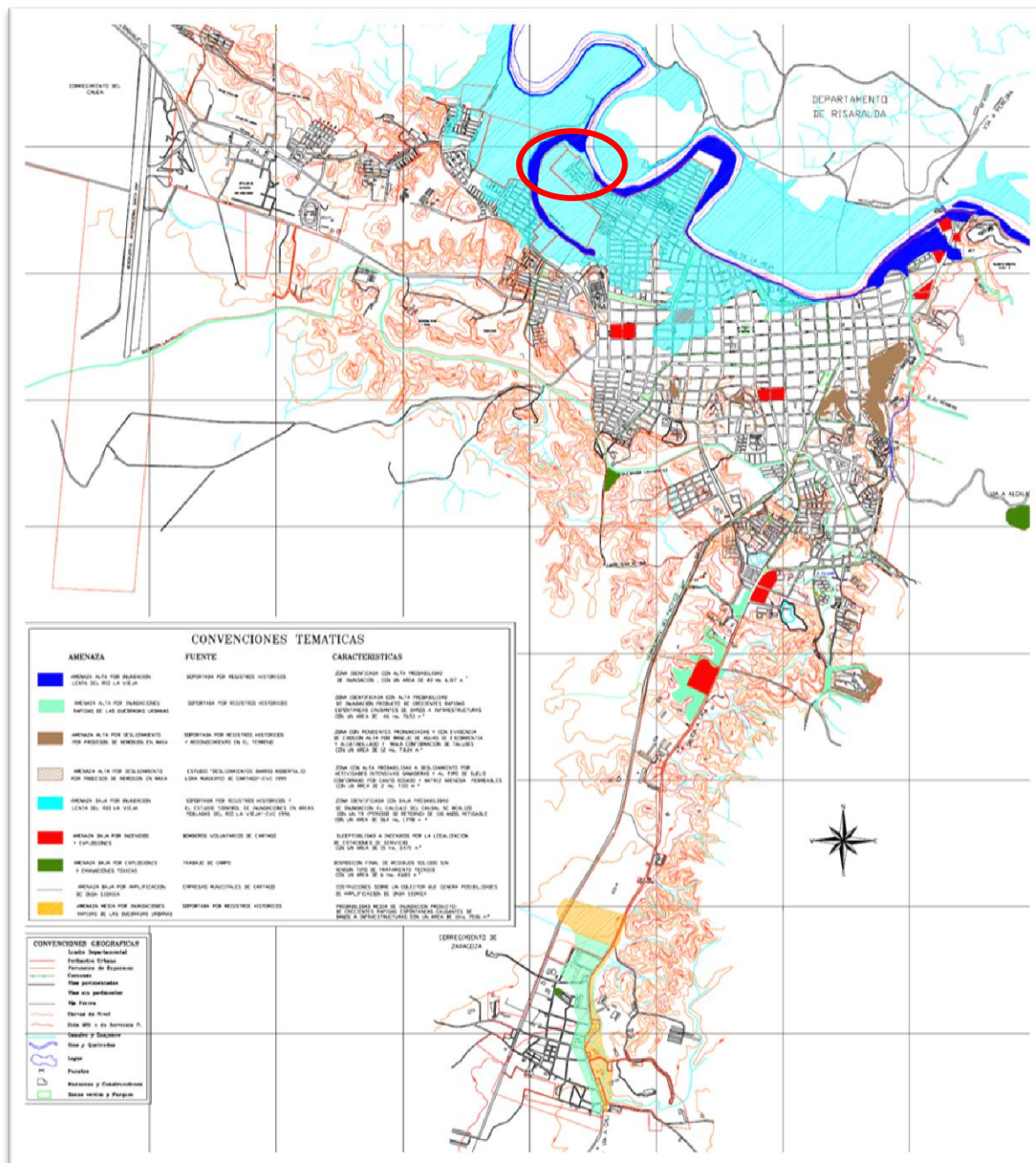


Figura 8. Zonas de Amenaza Alta por Inundación Municipio de Cartago Valle del Cauca.



*Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial Cartago (Valle del Cauca)*

Figura 9. Zonas de Amenaza Baja por inundación Municipio de Cartago Valle del Cauca.



*Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial Cartago (Valle del Cauca)*

### 5.3 MARCO DEMOGRÁFICO

La Población en el Municipio de Cartago ha tenido un crecimiento considerable en los últimos 30 años, para el Censo del 2005 presenta una población aproximada de 117.000 habitantes, con un porcentaje del 47% hombres y 53% mujeres (Artículo de Cartago, pasado presente y futuro)<sup>37</sup>. En la siguiente Tabla 6 se muestra la Población de Cartago Valle en el año 2010.

Tabla 6. Población de Cartago Valle discriminada por áreas.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA – DANE					
POBLACIÓN DE CARTAGO VALLE, AÑO 2010 POR ÁREAS.					
Total	%	Cabecera	%	Resto	%
128,566	100%	126,275	98.22%	2,291	1.78%

Fuente: Departamento Nacional de Estadística. DANE.

Para el 2013 se estima posea unos 135.365 habitantes aproximadamente, debido al incremento demográfico resultante de migraciones y éxodos hacia el municipio producto de las políticas de urbanización implementadas en los últimos años. Estos balances nos indican incremento demográfico en el Municipio de Cartago y a su vez el aumento en la construcción de vivienda en escala proporcional.

Cada uno de los barrios del municipio está clasificado dependiendo del nivel de ingresos de sus residentes, el entorno urbano de la zona y el contexto urbanístico, con el fin de identificar zonas de acción y distribuir el costo de los servicios públicos por estratos. La Ciudad se subdivide en 6 estratos socio-económicos, permitiendo identificar rápidamente sectores populares. ("Demografía de Cartago," 2013)

El barrio Villa Juliana siendo uno de los más afectados por la ola invernal en el municipio de Cartago y convierte en el escenario propicio para esta investigación. Es fundamental mencionar que esta urbanización tiene su inicio en Octubre de 1997, en el cual participo la constructora Potosí y O.V Constructora Luis Humberto Ospina V. La urbanización ocupa un área total de lote de 13.719 m<sup>2</sup>, está constituida por 122 viviendas. De las cuales según la clasificación estratigráfica 70 viviendas son estrato 2 y 52 restantes pertenecen al estrato 3. De los cual podemos decantar que el barrio no pertenece o no tiene su origen en fenómenos de periferia, ni en asentamientos subnormales y que fue resultado de un proceso de planificación y es producto de un proyecto urbanístico, dotado de infraestructura con viviendas pertenecientes a los estratos medios,

<sup>37</sup> TORRES MARÍN, Marcelo Andrés. OSORIO POSSO, Mildreth. TORRES RENGIFO, José Neftalí. Investigación y desarrollo del artículo de Cartago, pasado presente y futuro)

Cada vivienda de Villa Juliana consta de un patio de ropa, una cocina, un baño, dos alcobas y la sala comedor, cubriendo un área aproximada a 67 m<sup>2</sup>. En los Anexos A y B, se puede observar los planos tanto de la urbanización como los detalles de la vivienda. El precio de cada vivienda en el año 1998 era de \$15.000.000, de esta manera haciendo una analogía al año 2013 esta vivienda costaría \$43.381.500.

## 5.4 MARCO HISTORICO

En el Municipio de Cartago para el año 2008 se presentaron una serie de lluvias que acarrearón grandes inundaciones en el municipio, afectando y anegando gran número de Barrios, entre los cuales se encontraban: Barrio La Platanera, Barrio La Arenera, Barrio Las Brisas del Río, Barrio Entre Ríos, Barrio El Jubileo, Barrio Villa Juliana, Barrio Guayacanes, entre otros. ("Inundaciones en Cartago," 2008).<sup>38</sup>

Las Inundaciones Alcanzaron niveles desproporcionados, los cuerpos de agua llegaron a nivel de la calle y los paramentos, aproximadamente en la parte más alta causando daños alarmantes en las estructuras de las viviendas, los muros de contención de tierra desaparecieron por la inundación, se presentaron fisuras en las paredes de las viviendas y daños en muebles y enceres. En las siguientes Figuras 10 a la 13, se observa la inundación en Cartago en el 2008.

Figura 10. Barrió Villa Juliana



*Fuente: El País Cartago, 2008*

Figura 11. Barrio Guayacanes



*Fuente: El País Cartago, 2008*

---

<sup>38</sup> Inundaciones en Cartago. (2008). El Cartagüeño. <http://www.elcartagueno.com/index.php/noticias/2008/11/27/02/local/inundaciones-en-cartago/>



Figura 12. Barrio Brisas del Río



*Fuente: El País Cartago, 2008*

Figura 13. Río la Vieja



*Fuente: El País Cartago, 2008*

En año 2008 El Barrio Villa Juliana fue afectado en un 85% de su extensión. Para su recuperación se requirieron aunar los esfuerzos entre los entes Administrativos Municipales y Departamentales. Se desarrollaron obras civiles tales como construcción de jarillones y muros de contención como espolones y diques, también se realizaron drenajes con motobombas y ensanchamientos en las riveras del río La vieja para incrementar su potencial de evacuación de las aguas.

Luego de haberse prestado la recuperación de esta emergencia en el Barrio Villa Juliana, en el año 2011 se volvió a presentar una inundación durante la segunda temporada de la Ola Invernal, el cual afirma la oficina de gestión del riesgo del Municipio de Cartago que esta inundación fue la más crítica de la historia del Barrio, pues presentó una mancha de inundación o una cota de altura en el nivel de las aguas en Villa Juliana de 1,30 metros aproximadamente, afectando a 111 viviendas. (Oficina Gestión del Riesgo Municipio de Cartago).<sup>39</sup>

---

<sup>39</sup> Ing. Juan David López Coordinador de la Oficina Gestión del Riesgo Municipio de Cartago Valle del Cauca.

## 5.5 MARCO LEGAL

En la presente investigación es importante resaltar las normas y leyes por medio de las cuales se registrará el proyecto, relacionándolo con los materiales a utilizar, el lugar de implantación y el diseño de la vivienda flotante, teniendo en cuenta las pautas bajo las cuales se lleva a cabo la construcción de vivienda en Colombia.

### 5.5.1 Reglamento colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10.

Esta norma presenta requisitos que garantizan que se cumpla el objetivo primordial de proteger las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo fuerte. La aplicación de la norma tiene como resultado la mitigación del riesgo que corre la propiedad al momento de un sismo, la norma considera factores de gran importancia para la efectividad de este proyecto de grado como: la amenaza sísmica, interacción suelo-estructura, cargas, concreto estructural, construcción de casa de uno o dos pisos, estructuras metálicas, estudios geotécnicos entre otros aspectos. Para que la vivienda sea sismo resistente se debe diseñar con una adecuada configuración estructural, con dimensiones apropiadas y materiales con una proporción y resistencia suficientes para soportar la acción de fuerzas por sismos frecuentes (Norma Sismoresistente NSR - 10)<sup>40</sup>

### 5.5.2 Plan de Ordenamiento Territorial P.O.T Cartago.

Tiene por objeto complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible, conforme a la visión territorial. Es de vital importancia para el desarrollo de la vivienda flotante tener en cuenta el P.O.T debido a que establece diferentes aspectos de gran utilidad donde indica las zonas de amenaza por inundación, los niveles de agua más altos y bajos, entre otros aspectos importantes para definir el lugar de estudio del proyecto.<sup>41</sup>

### 5.5.3 Ley 388 de 1997

Mediante la Ley 388 de 1997, que modificó parcialmente algunas disposiciones de la Ley 9 de 1989, se definieron entre otros objetivos, el establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural, la prevención de desastres, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.

---

<sup>40</sup> Reglamento de Sismo Resistencia. Norma Sismo resistente NSR - 10 (2010) Decreto 926 del 19 de Marzo de 2010, "Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10"

<sup>41</sup> Plan de Ordenamiento Territorial Cartago Valle del Cauca 2000- 2009. Acuerdo 050/2.000.

El Plan de Ordenamiento Territorial que los municipios y distritos deben adoptar en aplicación de la Ley 388 de 1997 constituye el instrumento básico para desarrollar el proceso de ordenamiento del territorio municipal. Estos planes se definen como el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.<sup>42</sup>

#### 5.5.4 Constitución Política de 1991 Artículo 2

Son fines esenciales del Estado: servir a la comunidad, promover la prosperidad general y garantizar la efectividad de los principios, derechos y deberes consagrados en la Constitución; facilitar la participación de todos en las decisiones que los afectan y en la vida económica, política, administrativa y cultural de la Nación; defender la independencia nacional, mantener la integridad territorial y asegurar la convivencia pacífica y la vigencia de un orden justo.

Las autoridades de la República están instituidas para proteger a todas las personas residentes en Colombia, en su vida, honra, bienes, creencias, y demás derechos y libertades, y para asegurar el cumplimiento de los deberes sociales del Estado y de los particulares. En cuanto al manejo de los recursos naturales se reglamentaron disposiciones sobre la vivienda digna y el manejo de los recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible (prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental). Como primer paso para la Planeación, definió la obligatoriedad para las Entidades Territoriales de elaborar su Plan de Desarrollo. Se dispuso además en un esquema de descentralización, que el Estado delegaría en las entidades locales la responsabilidad de conocer, y atender en forma integral los recursos naturales, y tomar acciones sobre su manejo.<sup>43</sup>

#### 5.5.5 Decreto 93 de 1998

Por el cual se adopta el Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres PNPAD, el cual define los objetivos, principios, estrategias y programas de la Política Nacional. Los tres objetivos básicos de la política son:

- Reducción de riesgos y prevención de desastres.
- Respuesta efectiva en caso de desastres
- Recuperación rápida de zonas afectadas.

Estos objetivos se alcanzan a través de cuatro estrategias:

---

<sup>42</sup> Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 43.091, de 24 de julio de 1997

<sup>43</sup> Constitución Política de 1991. Gaceta Constitucional No. 116 de 20 de julio de 1991

- El Conocimiento sobre los riesgos (naturales y antrópicos)
- La incorporación de la prevención de desastres y reducción de riesgos en la planificación
- El fortalecimiento del Desarrollo Institucional
- La socialización de la prevención y la mitigación de desastres.<sup>44</sup>

## 5.6 TIPOS DE VIVIENDA EN COLOMBIA

La vivienda en Colombia es legalmente considerada como un producto - bien resultado de la conjunción de múltiples materiales y servicios. La construcción tradicional de viviendas se caracteriza por diferentes circunstancias como el tiempo de ejecución de obra, sistema constructivo, tecnología utilizada, el diseño de la vivienda, el terreno y el costo total de la obra.

Para el mejoramiento de la calidad de vida de los sistemas habitacionales, la SPAT (Subdirección de Promoción y Apoyo Técnico de la Dirección de Inversiones en Vivienda de Interés Social del Viceministerio de Vivienda ) contribuye a garantizar la oferta de bienes y servicios VIS - VIP en un hábitat adecuado, que posibilite el desarrollo de los proyectos de vivienda, a través de la recomendación y orientaciones de la política de vivienda VIS - VIP, regulaciones y promoción de participación de los actores de la vivienda en la República de Colombia.<sup>45</sup>

### 5.6.1 Vivienda de Interés Social (VIS)

Es aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMLM). Para el año 2013 el valor es hasta \$79.582.500.00

### 5.6.2 Vivienda de Interés Social Prioritario (VIP)

Es aquella vivienda de interés social cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (70 SMLM). Para el año 2013 el valor es hasta \$ 41.265.000.00.

<sup>44</sup> Decreto 93 de 1998. Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres PNPAD.

<sup>45</sup> Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, viceministerio de vivienda.



## 5.7 ANTECEDENTES

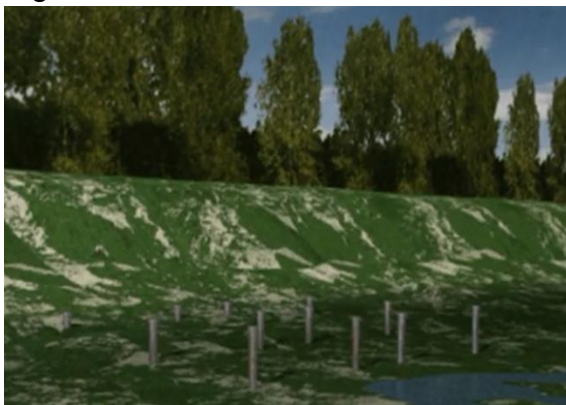
### 5.7.1 Casas Anfibias Flotantes en Holanda.

El desarrollo y la realización de casas flotantes en Gelderland Maasbommel es la visión de la empresa de construcción Dura Vermeer, para solucionar los problemas de inundación integrando la planificación racional del medio ambiente. Gran parte del país se encuentra bajo el nivel del mar, lo que los hace extremadamente vulnerables a las inundaciones. Sin embargo, a través de siglos, los holandeses han creado soluciones para mejorar la calidad de vida de las personas. Ellos han construido un paisaje protegido por diques junto al río y el mar, y se han integrado los sistemas de bombeo para eliminar el agua y mantenerla fuera de la zona habitada.

Estas viviendas están situadas en las planicies de inundación, el sistema de vivienda anfibia de Maasbommel está compuesto por una caja de concreto 70-ton, como el casco de un barco, este constituye la base sobre el que la superestructura de madera de dos o tres pisos se construye. Dos casas comparten una única plataforma para la estabilidad. La parte superior de la vivienda se construye con estructura de madera para asegurar flotabilidad óptima como se indica en las Figura 14 hasta la Figura 19.

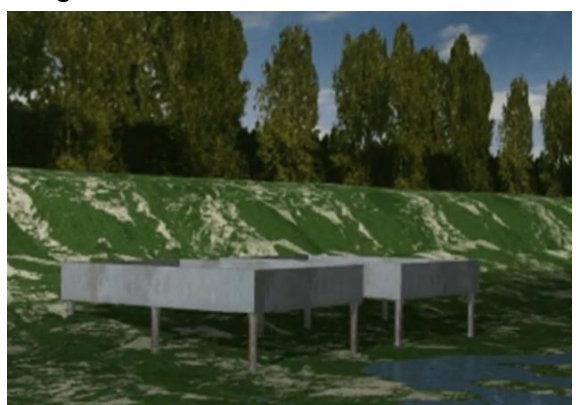
Diagrama del funcionamiento de la vivienda de Dura Veermer.

Figura 14. Cimientos



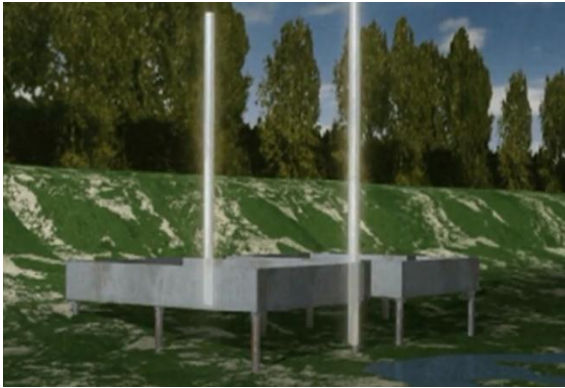
Fuente: VERMEER, Dura.

Figura 15. Estructura flotante



Fuente: VERMEER, Dura.

Figura 16. Guías verticales



Fuente: VERMEER, Dura.

Figura 17. Vivienda sobre el terreno



Fuente: VERMEER, Dura.

Figura 18. Vivienda en la inundación



Fuente: VERMEER, Dura.

Figura 19. Vivienda flotante



Fuente: VERMEER, Dura.

Los pilotes de acero son guías verticales que permiten un cambio máximo en el nivel de agua de 5,5 metros y asegura que las casas no se alejan flotando como se indica en la figura 17. Los servicios habitacionales como agua, gas, electricidad y alcantarillado están conectados mediante tuberías flexibles y los conductos están diseñados para funcionar incluso cuando las casas cambian de nivel. Este diseño de vivienda fue una innovación en Holanda. (Vermeer, 2010).<sup>46</sup>

<sup>46</sup> Vermeer, D. (2010). Amphibious and Floating Homes in Maasbommel. Retrieved from <http://www.duravermeer.nl/projecten/details/1477/maasbommel-waterwoningen-maasbommel>

### 5.7.2 Lift House Dhaka Bangladesh.

Prithula ProSun, es una estudiante graduada en la Universidad de Waterloo Facultad de Arquitectura, creó la Casa LIFT. Este proyecto fue aplicado a la población de bajos ingresos en la zona inundable Dhaka, Bangladesh. Este diseño es un ejemplo internacional de viabilidad técnica y económica aplicada a viviendas flotantes, empleando el uso de materiales sostenibles. La flotabilidad se logra a través de dos métodos: una base de concreto hueca para una casa y una base elaborada con un marco de bambú lleno de botellas vacías de agua reutilizadas. Una espina central, proporciona orientación vertical para las dos viviendas de bambú. Técnicas innovadoras pueden dar una idea a esta investigación en el desarrollo de sus fundamentos principales. (Fenuta, 2010).<sup>47</sup>

Figura 20. LiftHouse



*Fuente: PROSUN, Prithula.*

Esta tesis tiene como resultado el diseño y construcción de una casa flotante sostenible para comunidades de bajos recursos en zonas propensas a inundaciones, los materiales utilizados, los procesos de construcción y métodos de flotación detallados en la tesis son parte importante para este proyecto ya que el modelo de la vivienda flotante que se intenta diseñar tiene características similares.

Los procesos de construcción y flotabilidad aplicados en esta tesis están fundamentados en el principio de Arquímedes, en primer lugar se determina la profundidad a la que va a estar sumergida la casa cuando flote. Estos cálculos son para una losa construida con concreto (mezcla de cemento, arena y agua), con

---

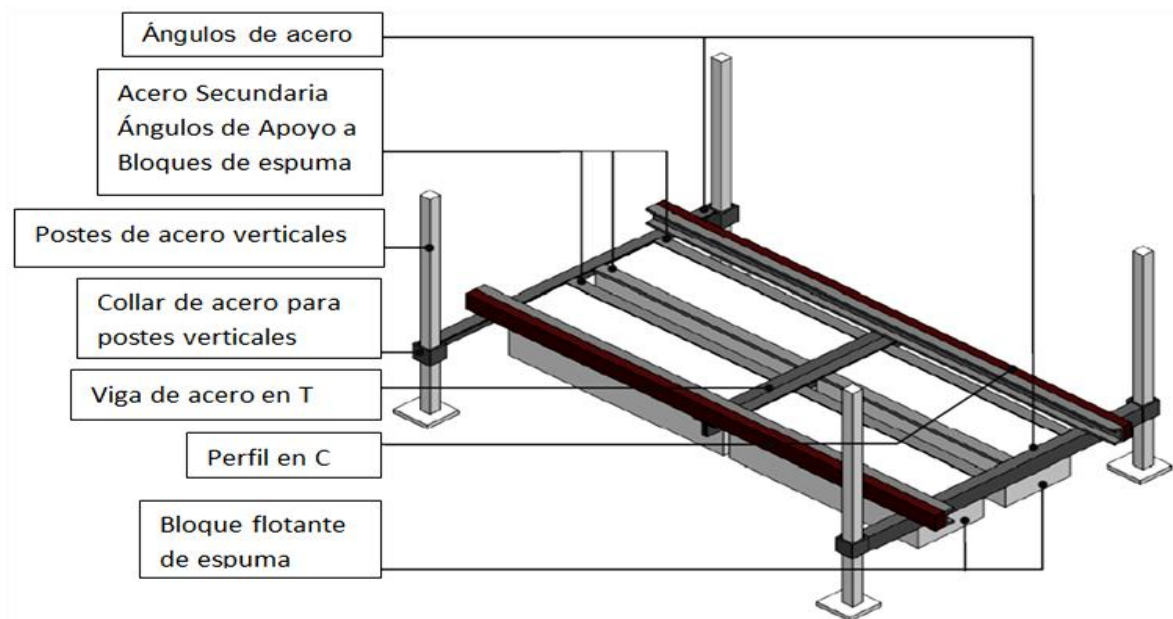
<sup>47</sup> Fenuta, E. V. (2010a). Amphibious Architectures: The Buoyant Foundation Project in Post-Katrina New Orleans p.177, 195, 196, 203, 299. Canada.

mallas de acero resistente al agua y un polímero para aumentar la resistencia a la penetración del agua. (Prosun, 2010).<sup>48</sup> Figura 20.

### 5.7.3 Construcción del Prototipo en Universidad Estatal de Louisiana (LSU).

En junio de 2007 se llevó a cabo una exitosa demostración a gran escala de la tecnología, al diseñar un prototipo de vivienda flotante en la Universidad Estatal de Louisiana (LSU), el prototipo es de 4m (ancho), 7.30m (longitud).

Figura 21. Estructura del prototipo de la LSU.



Fuente: Fenuta (2010). *The Buoyant Foundation Project in Post-Katrina New Orleans*.

La plataforma fue construida en una serie de pasos. Primero se realizan agujeros poco profundos a lo largo del terreno de la casa, la mampostería se construye a partir de cada agujero hasta una altura de 1m. Una plataforma de madera es construida en la parte superior de la mampostería y vigas. Después, un marco de metal se instala debajo de la plataforma utilizando los canales y ángulos dobles formando vigas en T. Luego se instalan manualmente los canales sobre los pilares de ladrillo y se fijan a las vigas soleras con tornillos de fijación. Una vez que los canales y vigas T están en su lugar, los postes verticales de orientación, los

<sup>48</sup> Prosun, P. (2010). Canada: A thesis presented to the University of Waterloo.



collares de guía y los bloques de flotación son instalados; Como se observa en la Figura 21. (Fenuta, 2010).<sup>49</sup>

En las siguientes Figuras, se exponen unas fotos que representan la prueba de elevación vertical para verificar la funcionalidad básica del sistema y una prueba de ascensor inclinado para agarrar de los collares en los postes de guía vertical, determinando la flotabilidad, el asentamiento de la estructura. Para la prueba construyeron un tanque temporal que rodea a la plataforma con el fin de llevar a cabo la prueba de flotación. Para simular el peso de la casa y su contenido, se utilizan barriles de agua y sacos de arena. Una prueba de estabilidad se realiza utilizando sacos de arena desigualmente distribuidos a representar una carga viva desequilibrada, que inclina la plataforma flotante. Ensayos al prototipo de la vivienda

Figura 22. Guías verticales



Figura 23. Prueba de flotacion



*Fuente: Fenuta (2010). The Buoyant Foundation Project in Post –Katrina New Orleans*

Este prototipo es una simple demostración de que el sistema de vivienda flotante por medio de guías verticales funciona según lo indicado en las pruebas de inundación donde se observó el comportamiento de la estructura dando como resultado un sistema seguro. Los principales componentes de este sistema de vivienda flotante son los bloques de poliestireno expandido (EPS) fijadas a una subestructura de acero con manguitos de deslizamiento en cuatro puestos de orientación verticales fijos.

<sup>49</sup> Fenuta, E. V. (2010). *Amphibious Architectures: The Buoyant Foundation Project in Post-Katrina New Orleans* p.177, 195, 196, 203, 299. Canada.

#### 5.7.4 Spin off: Proyecto de Grado Universidad EAFIT de Medellín Colombia.

El proyecto “Anfibio, spin off casa anfibio con la capacidad de flotar en temporada de lluvias cuando los ríos se crecen y de asentarse en temporada seca” consiste en una losa con materiales plásticos (botellas desechables), amarradas por una malla de acero capaz de soportar una carga hasta de 8 toneladas lo que equivale aproximadamente a una familia de 6 habitantes. La vivienda tiene un área de 35m<sup>2</sup> y tiene un sistema de guías verticales en postes que permiten su movimiento vertical. Un modelo de esta vivienda se puede observar en la Figura 24.(Molina & Castaño, 2011)

Figura 24. Casa Anfibio SPIN OFF,



*Fuente: Universidad EAFIT de Medellín-Antioquia.*

El costo se encuentra entre los estándares y rangos de vivienda prioritaria que tiene un costo alrededor de treinta y cinco millones de pesos (35.000.000) pretende, ayudar a las personas afectadas por las inundaciones y mitigar el riesgo ante un evento de inundación que causa graves daños a las viviendas ubicadas en zonas de amenaza hídrica en viviendas rurales y urbanas.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Molina, S. A., & Castaño, L. M. (2011). Anfibio, Spin Off: Proyecto de grado <http://www.eafit.edu.co/agencia-noticias/historico-noticias/2011/junio/Paginas/una-casa-flotante-para-hacerle-frente-al-invierno.aspx>

#### 5.7.5 El Arca de Noé de Louisville Street, Lakeview, New Orleans

Esta casa anfibia situada en Lakeview, New Orleans, en 6222 Louisville Street denominada "El Arca de Noé" es un proyecto diseñado y construido por (Spatz Development Company) empresa de construcción estadounidense. La casa fue construida en 2007 usando una estructura con materiales prefabricados de acero. Se puede subir hasta 4m al momento de una inundación y puede soportar vientos de huracanes de categoría 5. Clayton De Korne creador del Proyecto Arca de Noé, explica el método de construcción: Los hogares están enmarcados en acero y la cubierta va atornillada a las paredes exteriores para crear una estructura perfectamente rígida. (Development, 2009).<sup>51</sup>

Figura 25. Prototipo de la vivienda



*Fuente: Imagen digital Google Maps.*

Para mantener la casa flotando ubicaron 4 postes a unos 30 metros en el suelo a ambos lados de la base. Un par de soportes de acero se deslizan alrededor de cada apilamiento y fue soldada ala barcaza. Estos soportes son de gran tamaño para proporcionar un amplio espacio para deslizarse al aumentar el nivel del agua. Las ventanas están revestidas de vinilo y vidrio que resiste la rotura, especialmente un compuesto de dos láminas de vidrio con una capa intermedia de plástico transparente. La escalera de la entrada se separa de la casa para que permanezca en el suelo cuando la casa flote. Este tipo de modelo se puede observar en la Figura 25.

---

<sup>51</sup> Development, S. (2009). Parade of Homes Around Lakeview. Retrieved from [www.associationevent.com/PATL/BUILDER/spatz.pdf](http://www.associationevent.com/PATL/BUILDER/spatz.pdf)

Este ejemplo, en el barrio de Lakeview de New Orleans se cree que es la primera casa anfibia totalmente diseñada y construida legalmente en los Estados Unidos. La casa es prefabricada, construcción de estructura de acero que es viable técnicamente y estéticamente adecuado para New Orleans. La casa se encuentra en una caja de 3 metros de altura, hueco que se construye a partir de chapa de acero soldada y vigas de hierro. Guías verticales de madera sepultadas en la tierra en las cuatro esquinas de la casa y anillos cuadrados de metal soldadas a la base de la caja debajo de la vivienda que permiten el movimiento hacia arriba y hacia abajo en los postes.

#### 5.7.6 Casa Flotante “El Lower Ninth Ward”, en New Orleans

Esta casa flotante tiene un área de (88 m<sup>2</sup>), es una residencia unifamiliar en 1638 Tennessee Street, en el Lower Ninth Ward, Nueva Orleans. En el paso del huracán Katrina, la Fundación Make It Right (MIR) desarrolló la construcción de viviendas en una parte del Lower Ninth Ward. Estas casas se caracterizan por tener un diseño de arquitectura moderna, sostenible, duradero, seguro, asequible y ecológicamente viable. El proyecto fusiona prefabricados y sistemas construcción modular.

La estructura que proporciona la flotabilidad es una base de 1.2 metros cuadrados, creada con espuma de polietileno y recubierta con fibra de vidrio y concreto reforzado. La base alberga todo el equipo necesario para el abastecimiento de agua, energía y aire. En la Figura 26 se observa una imagen del modelo de vivienda.

Figura 26. Vivienda de la Fundación Make It Right (MIR).



Fuente: Imagen digital Google Maps.



Al momento de la inundación la base se convierte en una especie de balsa que permite que la casa se eleve verticalmente y flote hasta 3.6 metros, dos postes de acero funcionan como guía vertical ubicadas en cada extremo del interior de la vivienda permitiendo el movimiento y la estabilidad. (Fenuta, 2010).<sup>52</sup>

Este proyecto proporciona un precedente extremadamente útil para diseñar la vivienda contra inundaciones de esta investigación, aunque el sistema propuesto no está diseñado para que sus habitantes permanezcan en el interior, sin embargo, minimiza el daño y permite a los dueños mantener su capital activo y regresar con mayor prontitud a sus hogares. Este prototipo cuenta en el interior con una sala, una cocina, tres habitaciones, un baño y un pasillo. En el exterior tiene un parqueadero frontal y una terraza.

Para lograr el objetivo principal de la estructura se utilizaron materiales livianos que permitieran la flotabilidad como paneles de fibra de cemento, estructura de acero galvanizado y madera sellada. Gracias a las características de sus materiales, el modelo optimiza la eficiencia al momento de tratar con producción en serie. El proyecto logra una reconstrucción más fuerte, segura y mejor, que pudiera sobrevivir a la próxima tormenta o inundación. Esta tecnología fue creada específicamente para salvar hogares e incrementar el tiempo de recuperación después de una inundación.

Los proyectos presentados son ejemplos internacionales de mitigación del riesgo causadas por las inundaciones, estas estrategias están dirigidas a los tipos de vivienda urbano y rural, presentados y construidos en los últimos 5 años. Los ejemplos de casas contra inundaciones proporcionar soluciones eficaces y viables para el problema de inundaciones de viviendas en las zonas propensas a este fenómeno.

Las características presentes en cada solución como la estabilidad, flotabilidad permitiendo el movimiento vertical y la flexibilidad al volver a su estado inicial después de la inundación son aspectos fundamentales para obtener un buen resultado en el desarrollo y viabilidad de cada proyecto. Las limitaciones de diseño son generalmente el proceso de construcción y en el presupuesto los rangos de precios para cada proyecto varían.

Las técnicas se basan principalmente en la innovación aplicada a la construcción cumpliendo los objetivos principales como son la flotabilidad, confort y mitigación del riesgo como se observa en los anteriores ejemplos.

---

<sup>52</sup> Fenuta, E. V. (2010). *Amphibious Architectures: The Buoyant Foundation Project* in Post-Katrina New Orleans p.177, 195, 196, 203, 299. Canadá.

#### 5.7.7 Metodologías constructivas.

El Proyecto Arquitectónico es la fase que precisa, concreta y define la totalidad de las ideas, conceptos, diseños y soportes técnicos necesarios para la final materialización de una edificación u obra civil, bajo la forma de plantas de localización, plantas generales, cortes y secciones, fachadas, cuadros de áreas y anexos tridimensionales y planimetrías específicas, entre otros.

Implica también una meticulosa y coherente recopilación de la documentación requerida para la definición pormenorizada de los elementos y procesos del edificio, de detalles normativos, reglamentarios, técnico-constructivos y complementarios que se encuentren bajo la supervisión del arquitecto.

#### 5.7.8 Diseño del sistema en AUTOCAD.

El programa Autodesk AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D, es uno de los programas más usados por arquitectos, Ingenieros y diseñadores industriales.

#### 5.7.9 Diseño del sistema constructivo.

El sistema de construcción liviana en seco, también conocido como sistema Drywall, es una opción muy viable para la construcción de esta vivienda, ya que es un sistema de gran flexibilidad en cuanto a diseños, dimensiones y formas. La instalación del sistema en seco por ser en corto tiempo, reduce un 35% los costos en comparación con el sistema tradicional de construcción.

Las ventajas del sistema liviano son: Su peso de 25 Kg/m<sup>2</sup> aproximadamente (una plancha de drywall equivale a 2.98 m<sup>2</sup>), el sistema drywall es duradero no se expande ni se contrae con los cambios de temperatura ni humedad, el acero de la estructura no se oxida, su superficie viene con un recubrimiento protector de zinc o galvanizado que garantiza una larga vida. El sistema drywall es económico ya que al ser más liviano, reduce el tamaño de la cimentación y de la estructura y al ser más rápida su construcción se reduce costos considerablemente. El acero de la estructura es 100% reciclable.<sup>53</sup>

---

<sup>53</sup> [www.drywallenlima.com](http://www.drywallenlima.com)

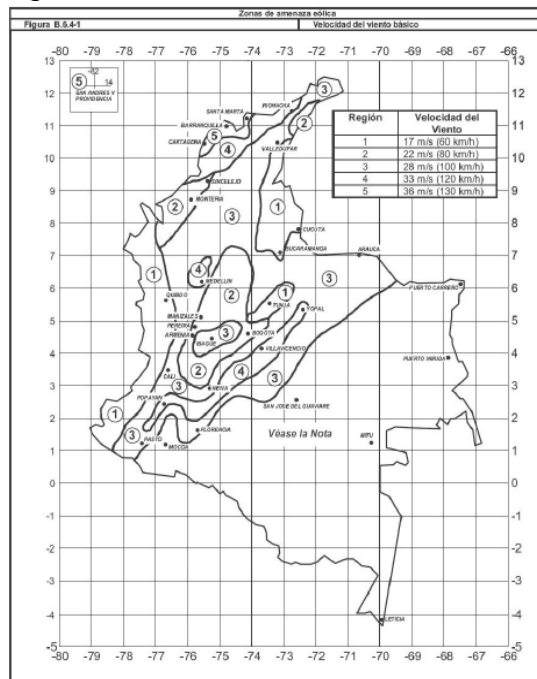
El diseño para una vivienda en estructura liviana, se basa principalmente en el Manual Técnico Superboard en lo concerniente al tipo de placa apropiado según el uso y la aplicación que se le vaya a dar, de igual forma el manual sirve de guía para determinar los elementos estructurales para los muros, estos elementos son: perfil canal que son de diversos calibres y anchos variables que varían según la aplicación y depende del espesor que se desee hacer el muro, de igual forma el perfil paral que son aquellos que van en sentido vertical en los muros que se encuentran de diversos calibres y se determina según la aplicación. Otros elementos son perfil omega y perfil en madera que igualmente son indispensables en cualquier sistema de estructura liviana.

Para el diseño de sistema liviano es necesario realizar un chequeo estructural teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Norma Sismo resistente NSR-10

En lo referente a la Ubicación en el mapa de riesgo sísmico, ya que la velocidad de viento se determina de acuerdo al Capítulo B.6.5.4 de la NSR-10, en el mapa de la fig. B.6.4.1, como se muestra en la siguiente Figura 27. La velocidad de viento se establece de acuerdo a la ubicación de la estructura, para este caso se va a tomar en el municipio de Cartago.

Figura 27. Mapa de la figura B.6.4.1 de la NSR-10.



Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente, figura B.6.4.1.

- Manual Acesco de perfiles

En lo referente a las propiedades mecánicas de los perfiles que se van a utilizar. Este manual será una guía para realizar el diseño de correas el cual tendrá los siguientes pasos:

1. **DATOS DE DISEÑO:** En lo relativo a la distribución de muros en planta, para resistir cargas verticales y de viento. Se determinara los datos necesarios para el diseño como la luz de diseño, la separación de las correas para la estructura y la pendiente de cubierta.
2. **EVALUACIÓN DE CARGAS:** Se determinara la carga muerta (D), que corresponde a la teja y los perlines y así obtener un total de carga muerta.

Para la carga viva, de acuerdo con la NSR-10 para pendientes > 27% corresponde a 35 kg/m<sup>2</sup> acorde a la NSR-10 y finalmente se determina la carga de viento.

3. **COMBINACIONES DE CARGA EN LA DIRECCIÓN (W<sub>uy</sub>) Y (W<sub>ux</sub>):** En lo respectivo a las combinaciones de carga, teniendo en cuenta las cargas verticales, de viento y sísmicas, como se observa en la siguiente tabla. De acuerdo a esto se obtiene la carga mayorada más desfavorable de todas las combinaciones y así determinar si cumple o no.

Tabla 7. Combinaciones de carga en la dirección (X) y en la dirección (Y)

Combinaciones	
1	1.4 CM
2	1.2CM+0.5CV
3	1.2CM+1.4CV+.8CVIS
4	1,2CM+0.5CV+1.3CVIS
5	1.2CM
6	0.9CM-1.3CVIC

Fuente: Norma Sismo resistente NSR-10

4. **MOMENTO ALREDEDOR DEL EJE (M<sub>ux</sub>) Y (M<sub>uy</sub>):** Se determina el momento alrededor del eje M<sub>uy</sub> y M<sub>ux</sub>, con las siguientes ecuaciones.

$$M_{uy} = W_{ux} \times L^2 / 8 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$M_{ux} = W_{uy} \times L^2 / 8 \quad (\text{Ec. 3})$$

De acuerdo al grafico de resistencia de diseño a flexión de perfiles C del manual de Acesco, para una luz determinada dependiendo el caso se obtiene el perfil respectivo y más liviano.

5. PROPIEDADES MECANICAS DEL PERFIL ADECUADO: Teniendo el tipo de perfil adecuado, se procede a chequear las propiedades del perfil. Los datos necesarios para chequear el perfil son los siguientes y se obtienen en tablas del manual:

Inercias:  $I_x - I_y$

Momentos de diseño  $\phi M_n$ :  $L_b$ ,  $\phi M_{nx} - L_b$ ,  $\phi M_{ny}$

Cortante de diseño:  $\phi V_n$

Arrugamiento del alma:  $\phi P_n$

6. VERIFICACIÓN FLEXIÓN BIAXIAL: Se realiza la siguiente ecuación y el dato que finalmente resulte, debe ser menor o igual a 1 y de esta manera cumpliría.

$$\frac{M_{UX}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{UY}}{\phi_b M_{ny}} \quad (\text{Ec. 4})$$

7. VERIFICACIÓN POR CORTANTE: Se realiza la siguiente ecuación, el valor obtenido debe ser menor o igual que  $\phi V_n$ , para que cumpla.

$$V_{uy} = W_y \times L \times 0,5 \quad (\text{Ec. 5})$$

8. VERIFICACIÓN POR ARRUGAMIENTO DEL ALMA:  $P_u = V_{uy}$ , por lo tanto este valor debe ser menor o igual a  $\phi P_n$  y de esta manera cumpliría.

9. DEFLEXIÓN EN DIRECCIÓN Y: Se utiliza la carga viva sin mayorar para realizar las siguientes ecuaciones.

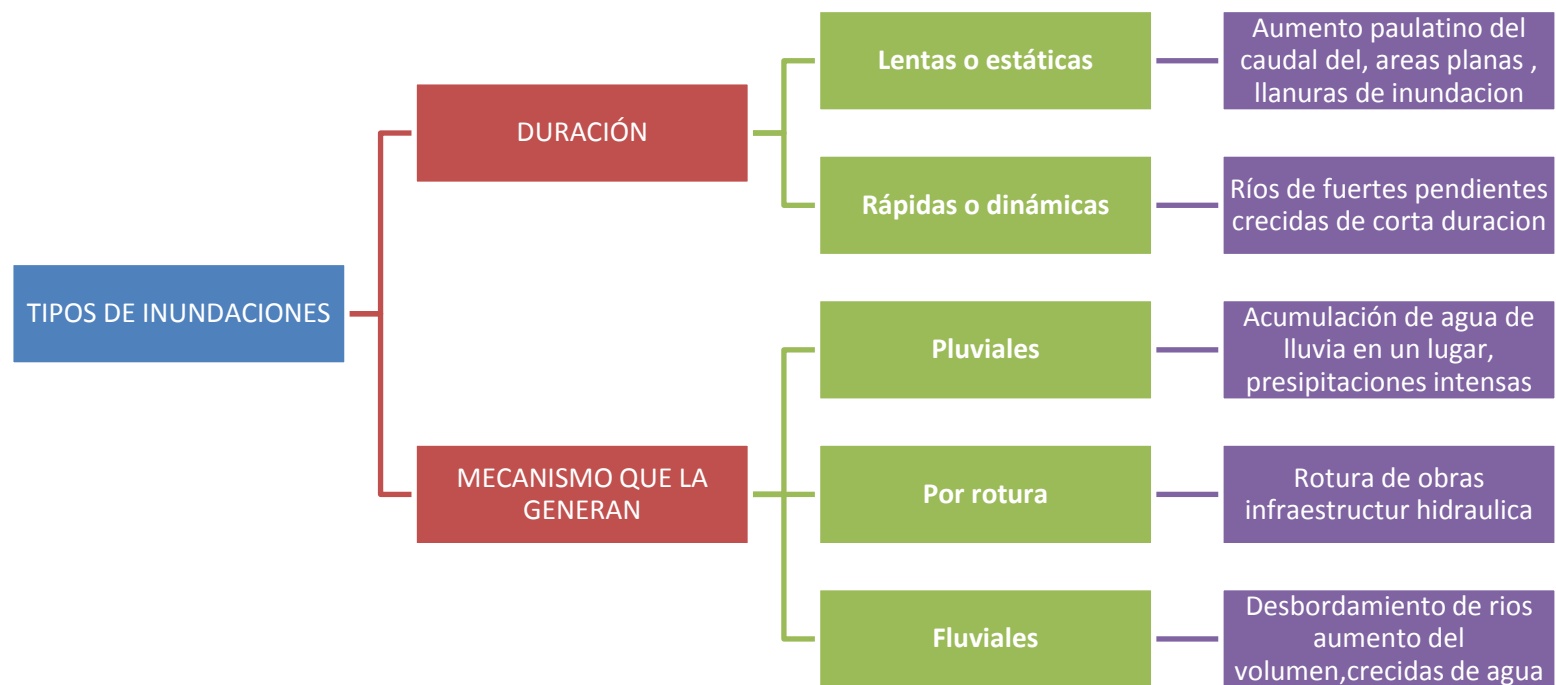
$$\delta y = \frac{5W_y L^4}{384 E \times I} \quad (\text{Ec.6})$$

$$\delta y_{adm} = \frac{L}{240} \quad (\text{Ec.7})$$

Las anteriores ecuaciones de igual forme se hace en dirección (x) y debe cumplir con lo siguiente  $\delta y_{adm} > \delta y$ .

### 5.7.10 Tipos de inundación

Las inundaciones se producen cuando lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de retención e infiltración del suelo, la capacidad máxima de transporte del río o arroyo es superada y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los propios cursos de agua. Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río. (territoriales, 2005)



#### 5.7.11 Materiales para el sistema de flotación.

Para el diseño de esta vivienda necesitamos materiales resistentes especiales ya que estará en contacto con el agua. El hormigón H30<sup>54</sup>, es una buena opción ya que es de mayor resistencia y menor porosidad que otros hormigones, y que impide el paso del agua, evitando la corrosión, según Koen Olthius, un diseñador de estructuras, dice que basta con llenar una armazón de hormigón con espuma plástica para conseguir una base estable sobre la que se va a edificar. Para la losa se podría utilizar el concreto ligero, en poliestireno expandido (espuma blanca) o también hay losas de panel (poliestireno expandido) con el sistema como "Covintec" o "panel w".

El panel Covintec consiste en una estructura tridimensional de alambre galvanizado calibre #14 (2,03 mm.), electro soldado en cada punto de contacto, compuesto por armaduras verticales denominadas escalerillas, de diseño único en el mercado y cuya característica principal es su forma de diagonales continuas en toda la altura del panel.

Otra de las opciones para el diseño del sistema de flotación, se fundamentara en la estructura de la losa en un material muy utilizado en la actualidad como es la madera plástica, este material es muy utilizado para elementos del hogar, como se mencionaron en los antecedentes. La madera plástica se utiliza para hacer una especie de canasta, esta se hace con la forma y las dimensiones que se desea diseñar la losa, dentro de la canasta de madera plástica se coloca tanques que son fabricados de polietileno de alta resistencia y en el centro de la losa se instala una canasta hecha con una malla flexible y dentro de ella se introducen unas botellas plásticas, la malla es para que estas botellas estén confinadas y trabajen en conjunto igualmente los tanques plásticos son amarrados para que en el momento que estén trabajando como flotador sea en conjunto, estos tanques están llenos de icopor puesto que se corre con el riesgo de que algunos de los tanques se rompa y se llene de agua y esto sería un impedimento en la flotabilidad y una falla en el diseño de la vivienda flotante.

#### 5.7.12 Muelle flotante en Madera plástica

Durante varios años se ha buscado e indagado la forma de construir una vivienda con materiales reciclables, donde se hace referencia al principio de la ecología y la

---

<sup>54</sup>Hormigón tipo H30, Clasificación: Resistencia característica mínima:  $\sigma$ : 300 Kg/cm<sup>2</sup>. Cemento puzolanico. Contenido mínimo de cemento: 420 kg/cm<sup>3</sup>. Razón agua - cemento máxima: 0.45. Asentamiento: 5 cm (Tolerancia  $\pm$  1 cm). Tamaño máximo del agregado grueso: 32 mm.

protección ambiental; menos uso de materiales y/o minerales y el uso de aceites y derivados de hidrocarburos, escatimar el uso de materiales y sus procesos que generan erosión y escases de los recursos naturales.

El proceso del uso de materiales reciclables y/o biodegradables es aplicable para viviendas, enceres interiores de hogares, accesorios para zonas comunes, como parques, lugares de recreación, restaurantes y/o zonas de alta frecuencia poblacional.

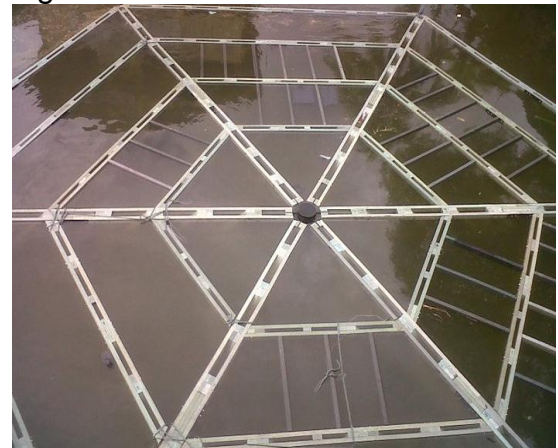
La madera plástica<sup>55</sup> tiene unas características físicas muy similares a la madera natural, pero además es resistente a la corrosión, al agua, al ataque bioquímico y a la intemperie. A parte de esto presenta buena resistencia mecánica y estabilidad dimensional. En las siguientes Figuras se presentan imágenes del proceso de ejecución de un muelle flotante, hecho en gran parte con la madera plástica de esta empresa. De acuerdo a una entrevista hecha al gerente Julián E. Echeverry de la empresa que construyó el Muelle flotante, es de anotar que el planteo la base del muelle en forma de hexágono ya que el área es muy grande y de esta forma al ubicar los perfiles de madera plástica y las pimpinas.

En la Figura 28 se observa el muelle casi terminado y flotando en el agua, por el contrario en la Figura 29 se observa el desarrollo de la construcción de la estructura para la base, el cual tiene un cilindro en acero para darle rigidez en el centro y del mismo modo sirve de apoyo para las correas en perfiles de madera plástica que llegan a este mismo punto central de la base. De la Figura 30 a la Figura 35 se puede observar el proceso de ejecución del muelle, como se hicieron las uniones con la tornillería, la forma en que se ubican las pimpinas y la instalación de la estructura para la cubierta.

Figura 28. Muelle Flotante



Figura 29. Estructura del muelle



<sup>55</sup>Rexco: Empresa dedicada a la fabricación de los elementos anteriormente mencionados con la madera plástica, esta empresa está localizada en el municipio de Cartago y se reconoce con el nombre de REXCO.



Figura 30. Armado de la estructura flotante para la base flotante.



Figura 31. Instalación de las canecas



Figura 32. Base del muelle flotante



Figura 33. Estructura para cubierta



Figura 34. Tornillería en las uniones de la estructura.



Figura 35. Cerchas en madera Plástica, para la cubierta



Fuente: Rexco: Empresa fabricante de madera plástica.

En los anexos C, D, E y F, se revelan los ensayos realizados en la Universidad Nacional de la madera plástica, y a continuación en la Tabla 8 se hace un resumen con los resultados obtenidos de cada ensayo.

Tabla 8. Resultados de ensayos realizados a la madera plástica REXCO.

ENSAYO A COMPRESIÓN		ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS DE POLIPROPILENO			TENSIÓN			ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO		
Carga Máxima (KN)	Esfuerzo (MPA)	Momento de Inercia (mm)	Carga Máxima (KN)	Módulo de elasticidad (CPA)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (N)	Esfuerzo (MPA)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Esfuerzo de Corte (MPA)
137,1	30,39	1231361,3	67,46	1,35	38,5	4562,3	118,5	2944	39,5	13,42

Fuente: ECHEVERRY, Julián Escobar. Entrevista, Muelle Flotante en madera plástica Rexco.

Conforme a lo anterior también se propone utilizar la misma losa construida con los perfiles en madera plástica y dentro de ella ubicar una serie de tanques plásticos como se utilizó en la construcción del muelle flotante la empresa REXCO de Cartago. Esta opción sería muy viable ya que es un material que se encuentra en la Región y que se tiene la certeza de que con estos materiales la vivienda va a flotar.

La incorporación de materiales sostenibles en el sistema por medio de la madera plástica utilizada para la estructura flotante ayuda a la descontaminación del medio ambiente al recoger el plástico y darles una nueva vida y uso. Es más responsable con el medioambiente ya que al reciclar los desechos plásticos se elabora este producto sustituto de otros materiales con lo que se reduce la huella ecológica de carbono. Los beneficios alcanzados con el desarrollo de este sistema generan impacto favorable con relación al fortalecimiento de la conciencia ecológica de las personas y mejorar sus hábitos del uso y consumo racional de los recursos naturales, incrementar la cultura de separación de desechos y del reciclado de materiales, etc.

La madera plástica además de generar los beneficios nombrados anteriormente con respecto a impacto social y ambiental poseen propiedades mecánicas como durabilidad cinco veces mayor al de la madera natural, costo - beneficio superior a corto mediano y largo plazo, resistente al agua, la humedad y solventes químicos, resistente al impacto, fuego, acido, cizallamiento, tensión, flexión; características importantes para el comportamiento estructural al momento de la inundación.

### 5.7.13 Diseño del sistema de flotación.

Análisis para determinar el cálculo para la flotación de la estructura.

El cálculo de la flotación de la estructura se determina por medio del principio de Arquímedes. “Un cuerpo que se encuentre en un fluido, ya sea flotando o sumergido, es empujado hacia arriba por una fuerza igual al peso del fluido desplazado. La fuerza boyante o flotante actúa verticalmente hacia arriba a través del centroide del volumen desplazado.”<sup>56</sup>

### Diseño en ETABS

El programa ETBAS es un Software de Diseño Integral de estructuras para realizar análisis y diseño con un propósito especial, sofisticado y fácil de usar, desarrollado específicamente para sistemas de edificaciones. El programa posee una poderosa e intuitiva interfaz gráfica con procedimientos de modelaje, análisis y diseño sin igual, todos integrada usando una base de datos común. Aunque fácil y sencillo para estructuras simples, ETABS también puede manejar los más grandes y complejos modelos de edificios, incluyendo un amplio rango de comportamientos no lineales, haciéndolo la herramienta predilecta para ingenieros estructurales en la industria de la construcción. Se realizan los siguientes chequeos al modelo:

**Chequeo a compresión:** se verifica en cada elemento de la estructura el valor de la fuerza a compresión producida por la carga de la vivienda y se elegí el mayor valor para comparar el esfuerzo con el dato de laboratorio.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{(2L)^2} \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

$P_{cr}$ : Valor teorico de fuerza critica (KN)

$E$ : modulo de elasticidad (N/mm<sup>2</sup>)

$I_z$ : inercia (mm<sup>4</sup>)

$L$ : longitud (mm)

**Chequeo a flexión:** se verifica en cada elemento de la estructura el valor del diagrama de momento producida por la carga de la vivienda y se elige el mayor valor para comparar el esfuerzo con el dato de laboratorio.

---

<sup>56</sup> (MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada: Prentice hall. 4° Edición. Pág.: 115.)

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde:

$\sigma$ : esfuerzo a flexión de la madera plástica (Mpa)

M: Momento a flexión sobre la viga en el programa (N/mm)

C: Distancia hasta el centroide (mm)

I: Inercia (mm<sup>4</sup>)

**Chequeo a cortante:** se verifica en cada elemento de la estructura el valor del diagrama de cortante producida por la carga de la vivienda y se elige el mayor valor para comparar el esfuerzo con el dato de laboratorio.

$$\sigma = 1,5 \frac{V}{A} \quad (\text{Ec.10})$$

Dónde:

$\sigma$ : esfuerzo a cortante de la madera plástica (Mpa)

V: Cortante máximo sobre la viga en el programa (N/mm)

A: Área de la sección donde se aplica la fuerza (mm<sup>2</sup>)

#### 5.7.14 Diseño estructural

Ante la ocurrencia de un sismo el reglamento sismo resistente (NSR - 10) defienden primordialmente la vida humana y la defensa de la propiedad. En general el usuario espera que la edificación no tenga ningún daño con la ocurrencia de un sismo, y aunque la normativa defienden respecto a la posibilidad de daño estructural grave y de colapso de la edificación, en general se pueden presentar daños graves a los elementos no estructurales de la edificación, especialmente en los muros divisorios y fachadas, en caso de sismos severos.

Para el buen comportamiento sísmico de la estructura se toman como referencia algunos criterios los cuales se indican a continuación:

#### 5.7.15 Estudio geotécnico

El estudio geotécnico establece criterios básicos para realizar diseños estructurales, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sísmo resistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables (Duran, 2011).

Para precisar todo lo relativo a las condiciones físico-mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño de la cimentación de esta investigación, se toma como referencia la Norma Sismo Resistente capítulo H Estudios Geotécnicos, donde se definen el tipo de suelo, el diseño y las recomendaciones de la cimentación y del proceso constructivo. Los datos y características del suelo se obtienen de estudios realizados en la zona de aplicación de esta investigación Cartago valle del cauca. Lo anterior para garantizar el comportamiento adecuado de la estructura, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger la vivienda.

#### 5.7.16 Diseño de la cimentación

La parte inferior de una estructura se denomina generalmente cimentación y su función es transferir la carga de la estructura al suelo en que esta descansa. (DAS). Las condiciones del terreno son la parte mas importante a considerar para que las estructuras no se asienten, inclinen o colapsen por esto para el diseño de la cimentación se debe tener en cuenta el control de las cargas frente a la capacidad portante del suelo y los asentamientos máximos admisibles.

La estructura de la edificación debe diseñarse para que tenga resistencia y rigidez adecuadas ante las cargas mínimas de diseño prescritas por el Reglamento y debe, además, verificarse que dispone de rigidez adecuada para limitar la deformación ante las cargas de servicio, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la edificación.

Para cumplir con lo indicado anteriormente sobre las vigas de cimentación se debe proceder con los siguientes pasos:

**Paso 1 — Pre dimensionamiento:** Definición del sistema estructural, dimensiones tentativas para evaluar preliminarmente las diferentes solicitaciones tales como: la masa de la estructura, las cargas muertas, las cargas vivas, los efectos sísmicos, y las fuerzas de viento. A continuación se describen algunas características de la vivienda utilizadas para el diseño estructural.

- **Cálculos de dimensiones:** Para determinar altura y ancho de la viga se toma como referencia especificadas por la NSR-10 capítulo E.2.2 ESTRUCTURACIÓN DE LOS CIMENTOS.
- **Forma:** La cimentación está compuesta por un sistema reticular de vigas que forman anillos, regular y simétrica para evitar torsiones a la estructura.

**Paso 2 — Evaluación de las solicitaciones definitivas:** Con las dimensiones de los elementos de la estructura definidas como resultado del paso 1, se evalúan todas las cargas que pueden afectar la edificación de acuerdo con los requisitos de la NSR-10.

- **Carga gravitacional:** Es el efecto vertical de la aceleración debida a la gravedad sobre la masa, **m**, de la vivienda. **m** debe ser igual a la masa de la estructura más la masa de los elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc.

$$W = m * g \quad (\text{Ec. 11})$$

Dónde:

W: carga (N)

m: masa (kg)

g: gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

Wv: Peso de la vivienda (KN/m)

- **Peso propio de viga:** Se determina según las características del material en este caso la viga es de concreto con un peso específico  $2400\text{kg/m}^3$ , con relación a las dimensiones y la gravedad.

$$W_{pp} = b * h * \delta * g \quad (\text{Ec. 12})$$

Dónde:

$W_{pp}$ : peso propio de la viga (N/m)

$b$ : ancho de viga (m)

$h$ : altura (m)

$\delta$ : peso específico del concreto ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$ : gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

- **Carga muerta** Es la carga vertical debida a los efectos gravitacionales de la masa, o peso, de todos los elementos permanentes ya sean estructurales o no estructurales.

$$W_D = W_{pp} + W_v * a \quad (\text{Ec } 13)$$

Dónde:

$W_D$ : Carga muerta (KN/m)

$W_{pp}$ : Peso propio de la viga (KN/m)

$W_v$ : Peso de la vivienda ( $\text{KN/m}^2$ )

$a$ : Aferencia (m)

- **Carga viva:** Carga debido al uso de la estructura. Las cargas vivas que se utilicen en el diseño de la estructura deben ser las máximas cargas que se espera ocurran en la edificación debido al uso que ésta va a tener.

$$W_L = w_l * a \quad (\text{Ec. } 14)$$

Dónde:

$W_L$ = carga viva (KN/m)

$W_L$ = carga viva según el uso nsr10 ( $\text{KN/m}^2$ )

$a$ = aferencia (m)

- **Carga externa última mayorada:** Es una carga que se obtiene como el producto de una carga nominal por un coeficiente de carga.

$$W_u = 1.2WD + 1.6WL \quad (\text{Ec. 15})$$

Dónde:

$W_u$ : carga última mayorada (KN/m)

$WD$ : Carga muerta (KN/m)

$WL$ : Carga viva (KN/m)

- **Momento externo último:** Momento de fuerza resultante de la distribución de la carga última mayorada sobre la viga.

$$M_u = \frac{W_u * l^2}{9} \quad (\text{Ec. 16})$$

Dónde:

$M_u$ : momento externo último (KN/m)

$l$ : longitud de viga (m)

$W_u$ : carga última mayorada (KN/m)

- **Esfuerzo cortante externo:** Esfuerzo resultante de la carga última mayorada sobre la viga.

$$V_u = \frac{1,15W_u * l}{2} \quad (\text{Ec. 17})$$

Dónde:

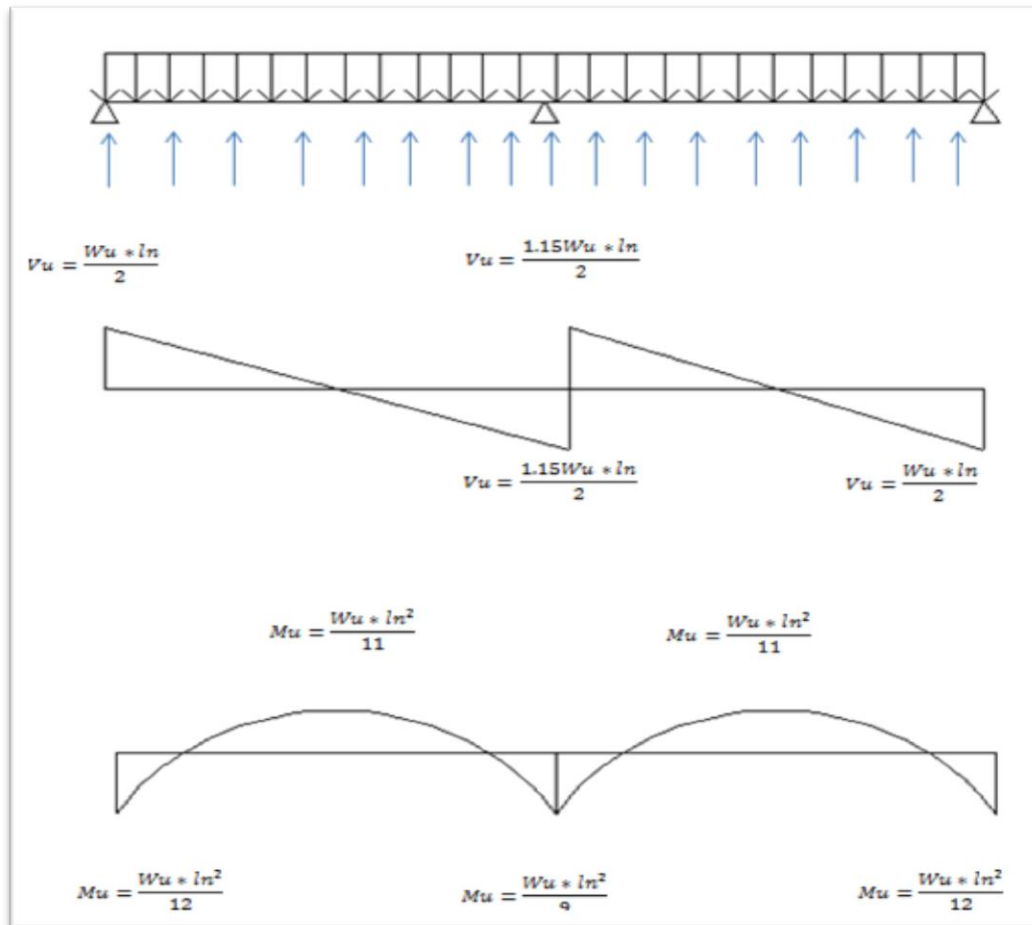
$V_u$ : cortante externo (KN/m)

$W_u$ : carga última mayorada (KN/m)

$L$ : longitud de viga (m)



Figura 36. Diagrama de cortante y momento



- **Verificación del Área necesaria de cimentación:** Se debe tener verificar las dimensiones de las vigas de cimentación según lo establecido en E.2.1 de la NSR-10.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{Ec. 18})$$

Dónde:

$\sigma$ : Capacidad Portante del Suelo (KN/M2)

P: Peso del muro (KN/m)

A: Área de cimentación (m2/m)

De la Ec. Despejamos A

**Paso 3 — Espectro de diseño:** Este paso consiste en localizar el lugar donde se construirá la edificación dentro de los mapas de zonificación sísmica dados en el Capítulo A.2 de la NRS-10 y en determinar el nivel de amenaza sísmica del lugar, de acuerdo con los valores de los parámetros **Aa, Av, Fv, Fa e I** obtenidos en los mapas de zonificación sísmica del Capítulo A.2.

- **El coeficiente de importancia ( I )** se debe fijar el grupo de uso de la estructura en este caso es grupo I estructura de ocupación normal.
- **Espectro de aceleraciones:** La forma del espectro elástico de aceleraciones,  $S_a$  expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño.

$$S_a = \frac{1,2 A_v F_v I}{T} \quad (\text{Ec. 19})$$

Dónde:

$S_a$ : aceleración espectral que le corresponde a la estructura. (%g)

$A_v$ : velocidad pico efectiva a nivel de basamento rocoso (Adm).

$F_v$ : amplificación debida al suelo en zona de periodos espectrales donde domina la velocidad (Adm).

$I$ : coeficiente de importancia

$T$ : periodo (seg)

- **Período de vibración**, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad (\text{Ec. 20})$$

Dónde:

$T_c$ : límite de periodos para la zona de dominio de la aceleración (s).

$A_a$ : aceleración pico efectiva a nivel de basamento rocoso (Adm).

$A_v$ : velocidad pico efectiva a nivel de basamento rocoso (Adm).

$F_v$ : amplificación debida al suelo en zona de periodos espectrales donde domina la velocidad (Adm).

$F_a$ : amplificación debida al suelo en la zona de periodos espectrales donde domina la aceleración (Adm).

- Período de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para períodos largos.

$$Tl = 2.4 * Fv \quad (\text{Ec. 21})$$

Dónde:

Tl: límite de periodos largos (s)

Fv: amplificación debida al suelo en zona de periodos espectrales donde domina la velocidad (Adm).

- **Evaluación de carga sísmica:** Es la que controla el diseño a carga lateral en edificaciones ubicadas en zonas de amenaza sísmica alta para el caso de Cartago Valle del cauca. Para esta estructura se calcula con el método de fuerza horizontal equivalente especificado en la NSR-10 capítulo A.4

$$Vs = Sa * g * M \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde:

Vs: cortante sísmico basal para la estructura (KN)

Sa: aceleración espectral que le corresponde a la estructura. (%g)

M: masa total de la vivienda (kg)

G: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- **Período de vibración** fundamental aproximado relacionado con la tipología y afectación por la altura de la estructura.

$$Ta = Ct * h^{\alpha} \quad (\text{Ec. 23})$$

Dónde:

Ta: periodo (s)

Ct: coeficiente que depende de la tipología estructural (adm)

$\alpha$ : coeficiente de afectación por altura depende de la tipología estructural (adm)

h: altura de la estructura (m)

- **Coeficiente** para determinar fuerza sísmica relacionada con la masa y la altura de la estructura.

$$Cvx: \frac{m \cdot h}{\sum m_i \cdot h_i^k} \quad (\text{Ec. 24})$$

Dónde:

Cvx: coeficiente de distribución de fuerza sísmica para piso (adm)

M: masa del piso (kg)

h: altura piso medida desde la base (m)

k: coeficiente de modificación de altura (adm)

- **La fuerza sísmica horizontal,  $F_x$** , en cualquier nivel  $x$ , para la dirección en estudio, debe determinarse usando la siguiente ecuación:

$$F_x = Cvx * V_s \quad (\text{Ec. 25})$$

Dónde:

$F_x$ : fuerza sísmica del piso (KN)

Cvx: coeficiente de distribución de fuerza sísmica para piso (adm)

$V_s$ : cortante sísmico en la base de la vivienda (KN)

**Paso 4 — Diseño a flexión:** Los elementos de concreto reforzado sometidos a flexión deben diseñarse para que tengan una rigidez adecuada con el fin de limitar cualquier deflexión que pudiese afectar adversamente la resistencia o el funcionamiento de la estructura. Para determinar el área de acero de la viga de cimentación necesaria para que cumpla con los momentos últimos generados según las cargas se debe proceder con los siguientes cálculos:

- **Cuantía mínima**

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

$\rho_{min}$ : cuantía mínima (%)

$f'_c$ : resistencia a compresion (Mpa)

Fy: resistencia a tension (Mpa)

$$\rho = \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

$\rho_{min}$ :cuantía mínima (%)

Fy: resistencia a tensión (Mpa)

- **Cuantia balanceada**

$$\rho_b = \frac{0,85(f'c)(\beta_1)}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

$\rho_b$ : cuantía balanceada (%)

F'c: resistencia a compresión (Mpa)

$\beta_1$ : Constante de proporcionalidad (adimensional)

Fy: resistencia a tensión (Mpa)

- **Cuantía elegida**

$$\rho_{min} \leq \rho$$

- **Acero en tensión**

$$A_s = \rho db \quad (\text{Ec. 29})$$

Dónde:

As: acero en tensión (cm<sup>2</sup>)

$\rho$ : cuantía elegida (%)

d: peralte efectivo de la viga (cm)

b: ancho de vida (cm)

- **Momento flector interno resistente**

$$M_n = A_s F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{Ec. 30})$$

Dónde:

Mn: momento nominal resistente (KN/m)

As: acero en tensión (cm<sup>2</sup>)

Fy: resistencia a tension (Mpa)

d: peralte efectivo de la viga (cm)

a: ancho de zona donde se aplica la fuerza ( adimensional)

$$a = \frac{AsF_y}{0,85F'_c b} \quad (\text{Ec. 31})$$

Dónde:

a: ancho de zona donde se aplica la fuerza (adimensional)

As: acero en tensión (cm<sup>2</sup>)

Fy: resistencia a tension (Mpa)

F'c: resistencia a compresion (Mpa)

b: ancho de vida (cm)

**Paso 5 — Diseño a cortante:** El esfuerzo cortante, tiende a cortar o cizallar el elemento en una dirección tangente a la cara sobre la cual actúa. El concepto de esfuerzo nace, entonces, de la necesidad de conocer la forma en que se distribuyen las fuerzas tangencial y normal en una sección cualquiera.

- **La capacidad resistente del concreto**

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{F'_c}bwd \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

Vc: fuerza de cortante contribuida por el concreto (KN)

λ: coeficiente de modificacion de esfuerzos ( adimensional)

F'c: resistencia a compresion (Mpa)

bw: ancho de viga (m)

d: peralte efectivo de la viga (m)

#### 5.7.17 Guías verticales

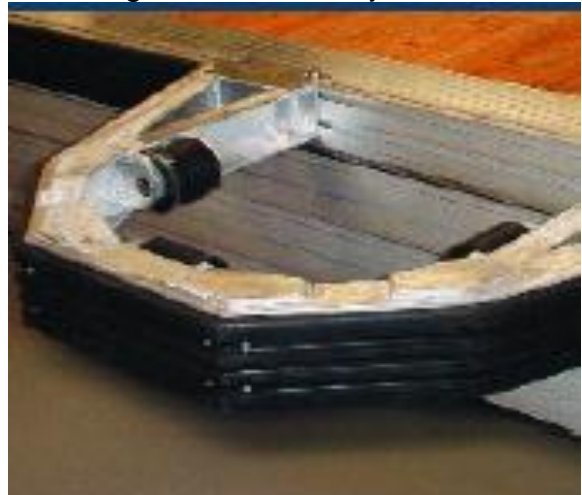
Para permitir el desplazamiento vertical de la vivienda al momento de la inundación se determina el diseño más adecuado que permita el movimiento, existen diferentes tipos utilizados en los puertos marítimos para permitir el movimiento a pantalanés elemento flotante cuya función es el tránsito de personas y amarre de embarcaciones. A continuación se especifican los tipos de guías verticales

**PILOTES:** Consiste en la hincada de tubería de acero en el fondo marino, a la que se une el pantalán mediante anillas. La tubería utilizada, recibe un tratamiento contra la corrosión. Las anillas que fijan el pantalán abrazando la tubería, están construidas con perfiles de aleación de aluminio, y está dotada de 3 ó 4 rodillos de caucho vulcanizado que se deslizan sobre la superficie del pilote, y van fijadas al pantalán mediante tornillería de acero inoxidable como se muestra en la figura 38.

Figura 37. Sistema pilotes



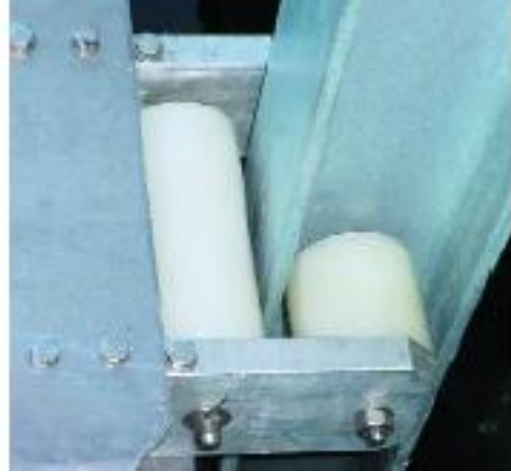
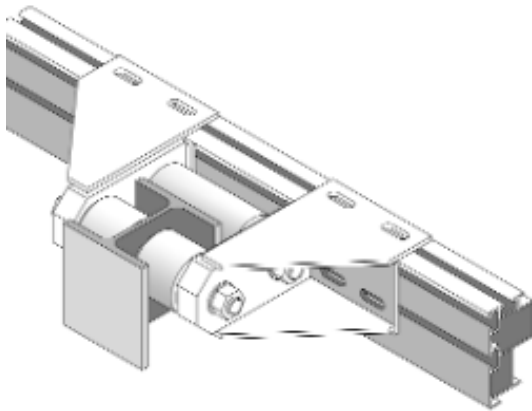
Figura 38. Anillas fijas



*Fuente: Ronautica S.A, 2011*

**VIGAS CARRIL HEB:** Columna en acero galvanizado en caliente anclada a muelle que se utiliza como guía en las subidas y bajadas de la lámina de agua para aquellos pantalanés que se instalan paralelos a un muelle. Sobre estas vigas se deslizan unos carros solidarios al pantalán con 2 o 3 rodillos de nylon o neopreno que garantizan el adecuado desplazamiento del conjunto.

Figura 39. Sistema con rodillos y perfil I



Fuente: REVISTA, Ronauticas mar

#### 5.7.18 Diseño de guías verticales

Para determinar las dimensiones del perfil se calcula el momento de la viga ante la ocurrencia de un sismo afectando los perfiles en dos direcciones siendo este la fuerza máxima a soportar.

$$M = F * L \quad (\text{Ec. 33})$$

Dónde:

M: momento de la viga de acero (KN/m)

F: fuerza horizontal producida por el sismo

L: Longitud de aplicación de la fuerza (m)

Se utiliza la fórmula de la deformación máxima obtenida con el momento de la viga generado por la fuerza sísmica un sismo, así mismo se obtiene la Inercia necesaria para determinar las guías verticales que permitan el movimiento a la vivienda en el momento de la inundación.

$$\Delta_{max} = \frac{Pb^2}{6EI} (3L - b) \quad (\text{Ec. 34})$$



Dónde:

$\Delta_{max}$ : Deformación máxima (cm)

P: carga aplicada sobre elemento producida por el sismo (kg)

b: L/2 (cm)

E: modulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>)

I: Inercia (cm<sup>4</sup>)

L: longitud de viga (cm)

Despejando la (Ec.34)

$$I = \frac{Pb^2(3L-b)}{6E\Delta_{max}} \quad (\text{Ec. 35})$$

Se verificar si cumple al comparar el esfuerzo producido por el momento en la viga con el esfuerzo máximo que soporta el perfil.

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} < 250 \text{Mpa} \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

$\sigma$ : esfuerzo del acero (Mpa)

M: Momento a flexión sobre la viga (N/mm)

C: Distancia hasta el centroide (mm)

I: Inercia (mm<sup>4</sup>)

#### 5.7.19 Placa de base para columna

Las placas de base se confeccionan a partir de chapas, cuyos espesores suelen ser de 18-20-22, pudiendo utilizarse espesores mayores o menores, en función de las cargas, momentos y esfuerzos que le lleguen a la placa. (Brotons, 2006)

Las columnas se apoyan sobre una cimentación de concreto y para impedir el

aplastamiento de este se colocan placas de base entre el acero y el concreto para distribuir la carga.

Para obtener las dimensiones de la placa de anclaje se utilizan parámetros obtenidos con las siguientes formulas

$$V_s = \frac{S_a * g * M}{\#elementos * R_0} \quad (\text{Ec. 37})$$

Dónde:

Vs: cortante sísmico basal para la estructura (KN)

Sa: aceleración espectral que le corresponde a la estructura. (%g)

M: masa total de la vivienda (kg)

G: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

R0: coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural.

- **La presión de aplastamiento admisible (Fp):** Depende de la resistencia del concreto en la cimentación, del tamaño de la placa base y el área de apoyo del concreto.

$$F_p = 0.35 f'_c \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

Fp: presión de aplastamiento admisible (MPa)

f'c : resistencia a compresión del concreto a los 28 días (MPa)

- **El área de la placa requerida:** Depende de la carga y la presión de aplastamiento admisible.

$$A = \frac{P}{F_p} \quad (\text{Ec. 39})$$

Donde:

P: carga (MN)

Fp: presión de aplastamiento admisible (MPa)

- **La presión de aplastamiento debida a la carga (fp):** Depende se la resistencia del concreto en la cimentación, del tamaño de la placa base y el área de apoyo del concreto.

$$fp = \frac{P}{A} \leq Fp \quad (\text{Ec. 40})$$

Donde:

fp: presión de aplastamiento debida a la carga (MN/m<sup>2</sup>)

Fp: presión de aplastamiento admisible (MPa)

A : Área de la placa (m<sup>2</sup>)

- **Proyección de la placa mas allá de los extremos de las aletas (n)**

$$n = \frac{(B-0,80bf)}{2} \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde:

B: lado de la placa (m)

bf: lado del perfil (m)

- **Proyección de la placa en dirección perpendicular (m)**

$$m = \frac{(N-0,95d)}{2} \quad (\text{Ec. 42})$$

Donde:

N: lado de la placa (m)

d: lado del perfil (m)

- **Presiones debajo de la aleta de la placa base**

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde:

M: momento de la viga de acero (KN/m)

C: Distancia hasta el centroide de la placa de acero (mm)

I: Inercia (mm<sup>4</sup>)

- **Espesor requerido de la placa base (tp):**

$$t_p = \sqrt{\frac{6 * M_u}{\phi b * f_y}} \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

Mu : momento debajo de la placa base (N/mm)

$\phi b$ : Coeficiente

f<sub>y</sub>: resistencia del acero

- **Diseño de pernos de anclaje para placa base:** Los pernos de anclaje se diseñan con el momento flexionante que se tiene en la base del poste y se chequea con el cortante, el momento en la base induce fuerza de tensión y compresión en los pernos de anclaje.

$$C = T = \frac{M}{d - T_f} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

C: fuerza a compresión en los pernos (KN)

T: fuerza a tensión en los pernos (KN)

M: momento del perfil de acero (KN/m)

d: altura del perfil sección transversal (m)

T<sub>f</sub>: zona neta de aplicación fuerza C y T

- **Área y diámetro del perno**

$$F_p = 0,90 f_y * A_s \quad (\text{Ec. 46})$$

$$A_s = \frac{(\pi * d^2)}{4} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

F<sub>p</sub>: fuerza por perno (KN)

F<sub>y</sub>: límite de fluencia del acero (MPa)

As: área del perno (m2)

La longitud del perno se determina por medio de la tabulación de las longitudes de desarrollo de barras corrugadas a tracción.

#### 5.7.20 Zapata para guía vertical

Las cimentaciones superficiales, cuyos sistemas constructivos generalmente no presentan mayores dificultades pueden ser de varios tipos, según su función: zapata aislada, zapata combinada, zapata corrida o losa de cimentación.

Las zapatas aisladas son el tipo más usual de cimentación pues son las más económicas. La columna puede ser centrada o excéntrica, aunque el primer caso es el más común. Si la cimentación se ubica en el límite de propiedad, la excentricidad de las cargas aplicadas puede ser tan elevada que la capacidad portante del suelo es superada. Las zapatas aisladas pueden ser de concreto simple o de concreto armado. (Harmsen, 2002).

$$\sigma = \frac{P_T}{A} \quad (\text{Ec. 48})$$

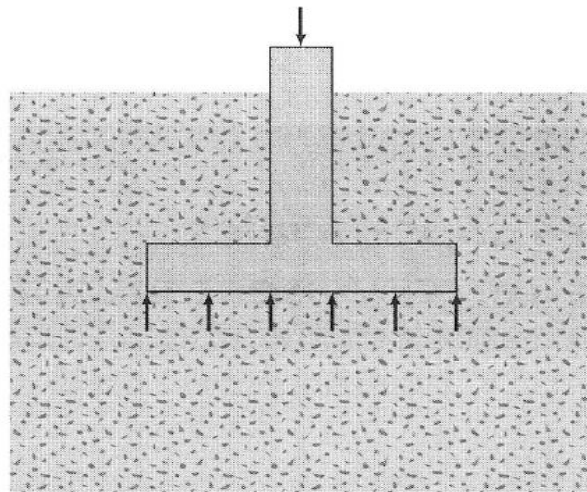
Donde:

$\sigma$ : esfuerzo (KN/m)

Pt: cargas verticales (KN)

A: área de la zapata (m2)

Figura 40. Zapata aislada



Zapata aislada

Fuente: Libro DAS BRAJA, Capítulo 11 Cimentaciones Superficiales. pág. 390.

### 5.7.21 Costos de producción del proyecto

Un proyecto de obra es un conjunto de actividades y tareas que tiene un objetivo específico, un plazo, un costo y especificaciones definidas. Una de las partes mas importantes del proyecto de obra es el presupuesto, integrado o no por varios parciales, donde se indica los análisis de precios unitarios, memorias de cálculos y los detalles precisos para su valoración. (Consuegra, 2002)

Presupuestas es establecer de qué está compuesta (cualitativa) y cuántas unidades de cada componente existen (cuantitativa) para, finalmente aplicar precios a cada uno y obtener su valor en un momento dado, sometiendo el proyecto a diferentes análisis:

- Análisis Geométrico: donde se indica que se va hacer y cuando.
- Análisis Estratégico: expresa como se va a realizar el proyecto y quien lo dirigirá.
- Análisis del Entorno: indica las imposiciones legales y de mercado.

Los análisis de precios unitarios indican el valor de cada actividad que representa el proyecto, este se conforma de materiales y sus componentes, mano de obra, cantidades, equipos y rendimientos.

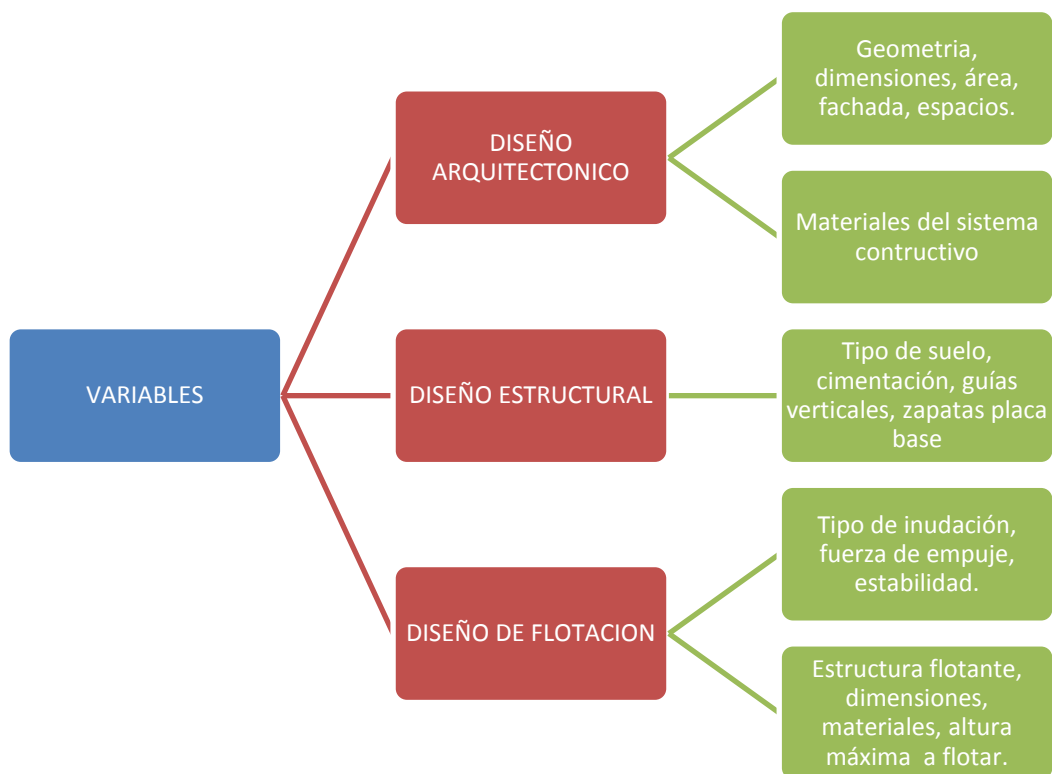
### TIPOS DE COSTOS

- COSTOS DIRECTOS: Materiales, Mano Obra, Equipos
- GASTOS GENERALES: Honorarios, Instalaciones, Personal auxiliar
- COSTOS INDIRECTOS: Diseños, Impuestos, Disponibilidad de Servicios
- COSTOS COMERCIALES: Intereses de capital, Comisiones de ventas, Gerencia Proyecto

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 VARIABLES DEL PROYECTO

Para desarrollar el proyecto es necesario previamente considerar diferentes variables como: el estado del terreno, las dimensiones, características topográficas orientación cardinal, tipo de inundación, luego se valoran otros aspectos relacionados con la superficie construida, altura de piso, relación de espacios y usos. La distribución de las viviendas del Barrio Villa Juliana del Municipio de Cartago, que se encuentra en el Capítulo 5.5, es preciso anotar que se desea hacer un diseño de vivienda como un sistema convencional que tenga la capacidad de adaptarse cambios en el nivel de agua.



## **6.2 DISEÑO ARQUITECTÓNICO**

El diseño arquitectónico de la vivienda corresponde a un sistema convencional, unifamiliar, que presta los servicios habitabilidad requeridos. La forma es cuadrada, tiene espacios disponibles de circulación y permite una estabilidad para el proceso de flotación.

El diseño arquitectónico se compone de cuatro espacios divididos entre área social salón comedor, área privada con dos habitaciones y área de servicio un baño y la cocina, es un sistema básico que tiene como prioridad mejorar las condiciones de las personas afectadas por las inundaciones. El sistema constructivo de los muros, cubierta y la estructura de pórticos es en sistema liviano, puesto que es versátil, reduce costos y tiempo, para permitir una buena ventilación e iluminación tiene ventanas en todas las áreas.

Se determinó un punto de equilibrio para la estabilidad de la vivienda, conserva un diseño sencillo, versátil, teniendo en cuenta que la distribución de muros interiores equilibrara a la proporción en m<sup>2</sup> y peso total, en espacio ocupado y permanente.

Los factores o elementos constitutivos de la estructura se asocian con el buen funcionamiento del piso, muros, cubierta y el movimiento flector por cargas. Se acudió a un diseño habitacional, tradicional y aplicable al objetivo del hogar.

## **6.3 DISEÑO CONSTRUCTIVO**

El sistema constructivo en materiales livianos se compone de placas de Superboard y en perfiles de lámina delgada para muros internos, externos, cubierta y entepiso, permitiendo la óptima flotabilidad de la vivienda además de que no requiere de equipos ni maquinarias y otra de las ventajas de este sistema de construcción es que es una obra limpia y disminuye tanto tiempo como costos.

Para determinar propiedades mecánicas, especificaciones, dimensiones y verificar por medio de chequeo estructural el sistema liviano compuesto por perfilería, fijaciones y arriostramiento de paredes interiores siguiendo lo especificado en el marco referencial.

Se realiza el diseño según lo indicado en las instrucciones de chequeo estructural para la perfilería, fijaciones y arriostramiento de paredes interiores dados por el Manual Técnico de Superboard Ayudas de Diseño-Perfilería .

1. De acuerdo a la Tabla 1 del Capítulo 5.7 del Manual, se determina la serie de perfiles a utilizar, dependiendo del tipo de junta a usar.



2. De acuerdo a la Tabla 2 del Capítulo 5.7 del Manual, dependiendo del acabado y la altura que va a tener el muro, se obtiene la deflexión admisible dependiendo el caso.
3. Se calcula la carga ejercida sobre el muro: Para carga muerta lateral en muros interiores y exteriores, acorde a la Tabla 3 del Capítulo 5.7 del Manual Técnico de Superboard.
4. Tomando la tabla correspondiente a la serie de perfiles seleccionada según el tipo de junta Matecsa de las tablas de pre diseño muros 5.7.3 del Manual, se escoge la carga horizontal y la deflexión admisible, teniendo esto se desliza verticalmente por la misma columna hasta encontrar una altura igual o mayor al muro, encontrada la altura se desliza horizontalmente hacia la izquierda donde se encontrara el perfil a utilizar, la referencia y la distancia a la cual deben estar espaciados horizontalmente definiendo de igual forma la medida del alma del perfil y el ancho de muro.
5. Si el perfil no concuerda con las especificaciones de ancho de muro en la Tabla 4 del Capítulo 5.7 del Manual Técnico de Superboard, separación entre parales, o calibre del perfil, será necesario continuar deslizándose verticalmente por la columna “Carga horizontal y deflexión admisible” hasta encontrar el Perfil que más se ajuste al requerimiento y especificación.

## **6.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE FLOTACIÓN**

### **6.4.1 Tipo de inundación**

La vivienda flotante que se propone en esta investigación esta dirigida a inundaciones lentas o estáticas estas se producen cuando hay lluvias persistentes que generan un aumento paulatino del caudal del rio hasta superar su capacidad máxima provocando que el rio se salga de su cauce. Las zonas que quedan inundadas se consideran llanuras de inundación.

### **6.4.2 Materiales para el Sistema de Flotación.**

El sistema de flotación está compuesto por una estructura en perfiles de madera plástica y canecas plásticas, tiene la capacidad de flotar y adaptarse a los cambios en el nivel del agua desbordada de los ríos en las épocas de lluvia dando solución

a las consecuencias del cambio climático en el municipio de Cartago Valle y en el resto del país.

#### 6.4.3 Diseño del sistema flotante

El diseño de la estructura flotante permite la flotabilidad de la vivienda cuando llegue la inundación y se diseña para resistir cargas cuando esta se encuentre sobre el terreno.

El primer paso es determinar las dimensiones adecuadas de la estructura flotante compuesta por vigas perimetrales en cercha ubicadas en el mismo lugar donde se apoyan los muros del sistema livianos para que la carga se distribuya y se formen en anillos actuando como vigas de cimentación cuando la vivienda no flote, las canecas plásticas se ubican dentro de los anillos y se cierran como en forma de canasta con los perfiles de madera plástica.

Después de especificar las dimensiones de la estructura se verifica que el diseño conforme el espacio suficiente para introducir el número de canecas suficientes que garantizan la flotabilidad de la estructura relacionada con el peso a soportar. Se hacen varios tanteos del espesor de la losa flotante hasta que se obtenga la flotabilidad determinada con el análisis de flotación por medio del principio de Arquímedes indicado a continuación.

#### 6.4.4 Definición matemática mediante el principio de Arquímedes.

Por medio del concepto para el cálculo de flotación, se calcula el peso de la estructura en perfiles de madera plástica calculado con la longitud total de material y el peso específico de la madera plástica, se determina el peso de las canecas y con el peso obtenido de la vivienda se iguala la ecuación con el volumen desplazado de los perfiles en madera plástica y las canecas si la fuerza de empuje es mayor al peso desalojado la estructura flota.

#### 6.4.5 Simulación de la estructura flotante

De acuerdo a las recomendaciones de un especialista en estructuras, se verifica el diseño propuesto con perfiles de madera plástica en ETABS partiendo de las dimensiones y características en el plano arquitectónico. Se analizan las cargas a las que estará sometida la estructura al momento de la inundación realizando el diseño a flexión, compresión y cortante máximo de cada elemento y chequeando con el dato obtenido en los ensayos de laboratorio.

El manual de ETABS proporciona instrucciones paso a paso para construir un modelo básico. Cada paso del proceso de creación del modelo es identificado, y varias técnicas de construcción del modelo son introducidas. A continuación se indican los pasos para verificar la estructura flotante.

**Paso 1 – Realizar el Modelo:** Se realiza el diseño según las dimensiones del plano arquitectónico, se fijan las direcciones y altura de la estructura.

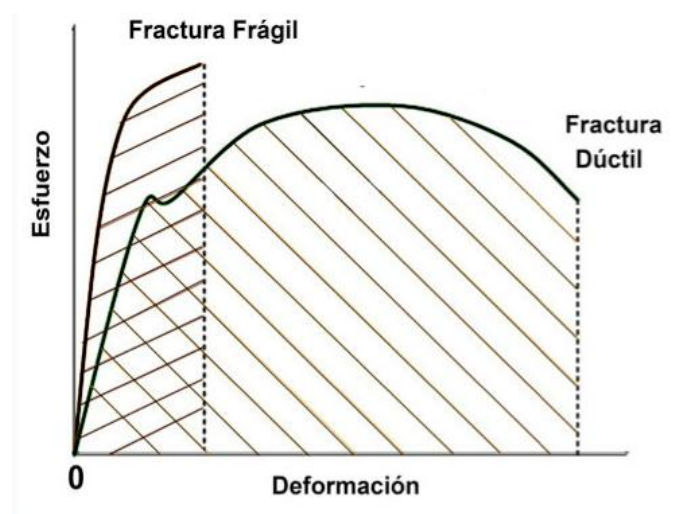
**Paso 2 – Propiedades de materiales** Se definen las propiedades del material masa por unidad de volumen, peso por unidad de volumen, módulo de elasticidad y relación Poisson tomando como referencia los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

**Paso 3 – Sección a utilizar:** se hace el diseño rectangular de la sección del perfil en madera plástica de las dimensiones que se requieran, después se dibuja en el modelo cada elemento hasta formar toda la estructura.

**Paso 4 – Asignación de cargas verticales:** se aplican las cargas hacia abajo producidas de la vivienda en los nodos y vigas de la estructura. Y se aplican las cargas hacia arriba producidas por las canecas.

**Paso 5 – Chequeo a compresión, flexión y cortante:** se verifica en cada elemento de la estructura el valor de la fuerza producida por la carga de la vivienda y se elegí el mayor valor para comparar con el dato de laboratorio.

Figura 41. Curvas esfuerzo – deformación de materiales que presentan fracturas dúctil y frágil.



## 6.5 DISEÑO ESTRUCTURAL

Para el diseño estructural del modelo de vivienda flotante se toma como referencia los requisitos establecidos en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) que permitan el funcionamiento adecuado de la vivienda sometida a cargas laterales y verticales

Tomando como referencia lo establecido en el título E en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR, 2010), la solución estructural se constituye de vigas de cimentación que transmiten la carga vertical y horizontal producida por los materiales de la vivienda (sistema liviano) y la losa flotante (madera plástica), los muros de linderos no son compartidos con la vivienda vecina lo que permite analizar la vivienda individualmente.

### 6.4.1 Estudio Geotécnico

De acuerdo a lo establecido en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR, 2010) el área de estudio de esta investigación se encuentra dentro de la zona de amenaza sísmica alta y el tipo de perfil de suelo E. Para determinar las características del suelo y proceder con los cálculos estructurales se toma como referencia “El informe geotécnico y recomendaciones de cimentación proyecto edificación de tres pisos con sótano, carrera 3 no. 13-20 – lote parqueaderos Cartago, Valle del cauca” (Duran, 2011),

### 6.4.2 Diseño de la Cimentación

Las vigas de cimentación de la vivienda contra inundaciones se diseñan para soportar cargas y transmitir las al suelo en el momento en que no exista inundación. Para el cálculo de las vigas de cimentación se debe proceder con los pasos indicados en el marco referencial. Determinando las dimensiones, forma, evaluación de las solicitaciones, espectro de diseño, verificar diseño a flexión y cortante.

### 6.4.3 Diseño Guías Verticales

Para permitir el desplazamiento vertical óptimo y mejorar la estabilidad de la vivienda al momento de la inundación se diseñan rieles sobre pedestales y zapatas, trabajando como guía vertical y además evitando que la casa se aleje de su posición inicial. Tomando como referencia el sistema utilizado en los puertos marítimos relacionados en el marco referencial conformado por el perfil de acero que funciona como guía en las subidas y bajadas de la lámina de agua para la vivienda. Sobre estas vigas se deslizan unos carros soldados al entrepiso de la casa con 3 rodillos de nylon o neopreno que garantizan el adecuado desplazamiento del conjunto.

El perfil en I se diseña para la ocurrencia de un sismo afectando los perfiles en dos direcciones siendo esta la fuerza máxima a soportar, la longitud del perfil es de 4m la altura máxima de cambio de posición de la vivienda al momento de la inundación es de 2m en el perfil metálico. Para determinar las dimensiones del perfil a utilizar se utiliza la fórmula de deformación para una viga en voladizo afectada por la fuerza sísmica en dos direcciones relacionada con la masa de la estructura. Después de obtener la inercia necesaria se busca en la tabla de propiedades del perfil HEA la inercia en x, y mayor al dato obtenido anteriormente.

#### 6.4.4 Placa de Base para Columna

Las columnas se apoyan sobre una cimentación de concreto y para impedir el aplastamiento de este se colocan placas de base entre el acero y el concreto para distribuir la carga. Para establecer las dimensiones de la placa de anclaje se realizan los cálculos establecidos en el marco referencial. Se utiliza mortero autonivelante para los anclajes de pernos. La longitud de desarrollo de los pernos se determina en la tabulación de las longitudes de desarrollo de las barras corrugadas.

#### 6.4.5 Zapata para Perfil

La zapata aislada que soporta el perfil HEA se diseña para dispersar la carga en la estructura en el suelo, teniendo como referencia el dato la capacidad portante del suelo obtenido de “El informe geotécnico y recomendaciones de cimentación proyecto edificación de 3 pisos con sótano, carrera 3 no. 13-20 – lote parqueaderos Cartago, Valle del Cauca”, se compara este dato con el fuerza generado por las cargas verticales como: Peso del perfil, Peso de la columna, Peso zapata y Peso de la tierra en el área asumida para verificar si cumple.

#### 6.4.6 Costos de la vivienda flotante contra inundaciones.

El costo del proyecto se realiza teniendo en cuenta el análisis geométrico donde se indica que se va hacer, tomando como referencia las generalidades del proyecto representado por los planos y especificaciones, obteniendo como resultado las cantidades de obra. Después de obtener las cantidades se procede con los análisis de precios unitarios, estos se toman como guía el listado suministrado por la Secretaría de infraestructura del Departamento de Risaralda.

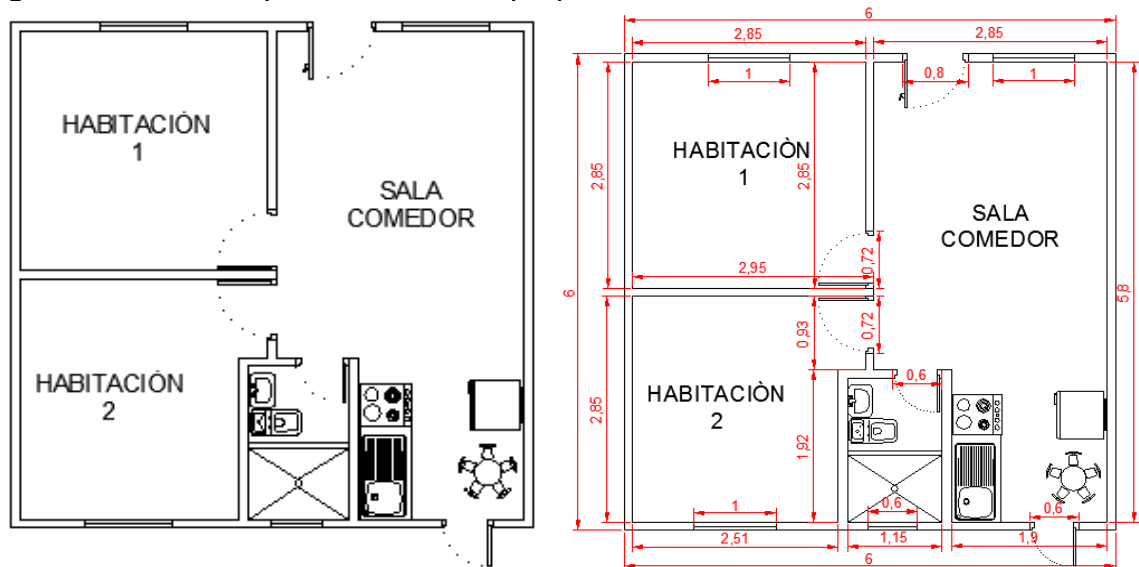
Para actividades que no se encuentren en este listado se realiza el análisis de precio unitario indicando el nombre de la actividad, especificaciones de construcción, unidad de medida, tiempo de ejecución, mano de obra y equipos a utilizar.

**7.**

## 7.1 DISEÑO ARQUITECTONICO

Acorde al análisis realizado en el proceso de la metodología y de igual manera determinar la geometría indicada para el plano arquitectónico se obtiene finalmente el diseño arquitectónico para la propuesta del modelo de vivienda flotante, el cual se puede observar en la siguiente Figura 41.

Figura 42. Plano arquitectónico de la propuesta del modelo de vivienda flotante.



El diseño arquitectónico de este prototipo de vivienda habitacional unifamiliar representa un práctico diseño viable de hogar, con una distribución asertiva a los conceptos constructivos.

La vivienda tiene una geometría cuadrada, con un área de 36 m<sup>2</sup> es decir 6m de ancho, por 6m de profundidad. La vivienda consta 2 habitaciones estándar, sala comedor de tipo americano y zona de patio reducida, pero aplicable y zona húmeda o de baño con los requisitos estipulados constructivamente.

Este tipo de vivienda planteada abstrae elementos de la vivienda tradicional o convencional (especialidad, permeabilidad, áreas de producción y vivienda espontánea); multifuncionalidad, espacial y materialidad. Retoma elementos del entorno, con el objeto de generar identidad y sentido de apropiación de la misma.

Es un sistema liviano, maniobrable y manejable, compuesto por elementos constructivos simples, sencillos y arquitectónicos. Su interior es básicamente basto y proporcional, no acude a la exageración de molduras; solo se enfoca en la versatilidad de vivienda moderna y total de las necesidades modernas contemporáneas.

## 7.2 DISEÑO CONSTRUCTIVO

### Primer paso:

Tabla 9. Datos de diseño sistema liviano

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Luz de Diseño	M	3
Separación	M	0.6
Pendiente	%	27
	grados	15°
Carga Muerta		
Teja	K/m <sup>2</sup>	3.57
Perlín	K/m <sup>2</sup>	4.17
Carga Viva	K/m <sup>2</sup>	35
Carga de Viento		
Succión	k/m <sup>2</sup>	25
Compresión	k/m <sup>2</sup>	30

### Segundo paso:

Tabla 10 A. Combinaciones de carga en la dirección Y

N°	COMBINACIONES	FACTORES				CARGAS				COSENO	S	TOTAL	UND
		FM	FV	FVIS	FVIC	CM	CV	CVIS	CVIC				
1	1.4 CM	1.4				7.737				0.760	0.6	4.94	kg/m
2	1.2CM+.5CV	1.2	0.5			7.737	35			0.760	0.6	12.21	kg/m
3	1.2Cm+1.4CV+.8CVIS	1.2	1.4	0.8		7.737	35	25		0.760	0.6	38.57	kg/m
4	1.2Cm+0.5Cv+1.3CVIS	1.2	0.5	1.3		7.737	35	25		0.760	0.6	31.71	kg/m
5	1.2Cm	1.2				7.737				0.760	0.6	4.23	kg/m
6	.9CM-1.3CVIC	0.9			1.3	7.737			30	0.760	0.6	-20.23	kg/m

- La carga de diseño corresponde a la Combinación 3. (1.2Cm+1.4CV+.8CVIS)

$$W_y = 38,57 \text{ Kg/m}$$

- El momento alrededor del eje X

$$M_x = \frac{38,57 \text{ Kg/m} * 3m^2}{8} = 43,4 \text{ Kg} * m$$

### Tercer paso:

Tabla 10 B. Combinaciones de carga en la dirección X

N°	COMBINACIONES	Factores				Cargas				seno	s	Total	
		FM	FV	FVIS	FVIC	CM	CV	CVIS	CVIC				
1	1.4 CM	1,4				7,737				0,650	0,6	4,23	kg/m
2	1.2CM+.5CV	1,2	0,5			7,737	35			0,650	0,6	10,45	kg/m
3	1.2Cm+1.4CV+.8CVS	1,2	1,4	0,8		7,737	35	25		0,650	0,6	34,74	kg/m
4	1,2Cm+0.5Cv+1.3CVS	1,2	0,5	1,3		7,737	35	25		0,650	0,6	29,95	kg/m
5	1.2Cm	1,2				7,737				0,650	0,6	3,62	kg/m
6	.9CM-1.3CVIC	0,9			1,3	7,737			30	0,650	0,6	-20,68	kg/m

- La carga de diseño corresponde a la Combinación 3. (1.2Cm+1.4CV+.8CVIS)

$$W_x = 34,74 \text{ Kg/m}$$

- El momento alrededor del eje Y esta dado por:

$$M_x = \frac{34,74 \text{ Kg/m} * 3m^2}{8} = 39,08 \text{ Kg} * m$$

- De acuerdo a la tabla de resistencia de diseño a flexión se obtuvo.

Perfil PHR/PAG 100\*50\*2.00



### Cuarto paso:

Tabla 11. Propiedades mecánicas para un perfil PHR 100\*50\*2-00

DE LA TABLA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Inercia alrededor de X (Ix)	mm <sup>4</sup>	666448
	Inercia alrededor de Y (Iy)	mm <sup>4</sup>	142748
25	Lb		3
	Omnx	kg-m	174
26	Lb		3
	Omny	Kg-m	82
40	Ovn	Kg	3628
41	Opn	Kg	947

### Quinto paso:

Tabla 12. Verificación flexión Biaxial

Mux	43.4	Mux/Omnx	Muy	39.08	Muy/Omny	Mux/Omnx/ Muy/Omny	Menor de 1 cumple
Omnx	174	0.25	Omny	82	0.477	0.73	

### Sexto paso:

Tabla 13. Verificación de Cortante

Vu	WL	Wy	L	Menor de 3628 Kg Cumple
57.8	2	38.57	3	

### Séptimo paso:

Tabla 14. Verificación arrugamiento del alma

Pu	57.85	Menor de 947 Kg Cumple
----	-------	------------------------

### Octavo paso:

Tabla 15. Deflexión en dirección Y

wy	35	Kg/m2
L	3	
E	2.04	
I	666448	

5	WY*L^4	0.01302	1292.2	1.2376E-05	Menor de	Cumple
384	E*I		1E+06			

Deflexión adm=  $L/270 = 0,0111$

### Noveno paso:

Tabla 16. Deflexión en dirección X

Wx	42.74	Kg/m2
L	2	
E	2.04	
I	1E+05	

5	WY*L^4	0.01302	266.79	1.19293E-05	Menor de	0.0076	Cumple
384	E*I		291206				

Deflexión adm=  $L/270 = 0,00755$

### Decimo paso:

- **Perfil admisible PHR 100\*50\*2-00:** Cumple con cada una de las condiciones exigidas.

### Onceavo paso:

- **Para el caso de las columnas y vigas del pórtico se utilizara:** Perfil PHR 100\*50\*1.5 en cajón.

### Doceavo paso:

Tabla 17. Parámetros muros

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Velocidad del Viento	100	K/h
Deflexión Permitida	1/240	
Altura Limite	3.41	M
Separación	0.61	Cm
Calibre	20	
Perfil	PI35XX20	

### Treceavo paso:

Según recomendaciones del fabricante las conexiones deben ser soldadas.

## 7.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE FLOTACION

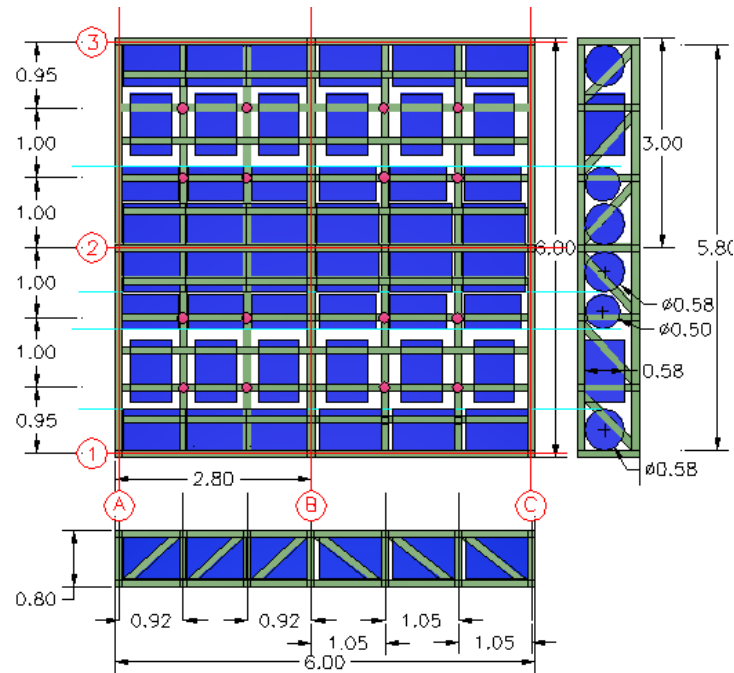
### 6.1.1 Cálculos flotación vivienda real

Se utilizan perfiles cuadrados de 10cm x 10cm para la armadura con columnas, diagonales, vigas perimetrales y las centrales. Para las vigas en dos direcciones de la parte de arriba y debajo de la cercha se utiliza perfiles de 5cm x 10cm.

Volumen de perfil 10cm x 10cm= 0,01m<sup>3</sup>

Volumen de perfil 0,05cm x 10cm= 0,005m<sup>3</sup>

Figura 43. Diseño de estructura flotante.



- **Longitud y volumen total de perfiles utilizados de 10cm x10cm**

$$L = 131,1\text{m} + 12,8\text{m} = 144\text{m}$$

$$V = (144 \times 0,10\text{m} \times 0,10\text{m}) = 1,44 \text{ m}^3$$

- **Longitud y volumen total de perfiles utilizados de 5cm x10cm**

$$L = 240\text{m}$$

$$V = (240 \times 0,05\text{m} \times 0,10\text{m}) = 1,2\text{m}^3$$

- **Volumen total de los perfiles de la armadura que protege los tanques**

$$V = 1,44\text{m}^3 + 1,2\text{m}^3 = 2,64 \text{ m}^3$$

- **Peso especifico de la madera plástica**

$$0,94\text{g/cm}^3 \longrightarrow 940\text{kg/m}^3$$

$$1\text{m}^3 \longrightarrow 940\text{kg}$$

- **Masa de los perfiles utilizados de 10cm x10cm**

$$\text{Masa} = 9,4\text{kg/m} \times 144\text{m} = 1353,6\text{kg}$$

- **Masa de los perfiles utilizados de 5cm x10cm**

$$\text{Masa} = 4,7\text{kg/m} \times 240\text{m} = 1128\text{ kg}$$

- **Masa total de los perfiles**

$$M_t = 2481,6\text{ kg}$$

- **Canecas plásticas 220 litros**

$$M = 36\text{ canecas} \times 15\text{kg} = 540\text{kg}$$

$$\text{Volumen de las canecas} = 36\text{ canecas} \times 220\text{l} = 7920\text{l} = 7,920\text{m}^3$$

- **Canecas plásticas 114 litros**

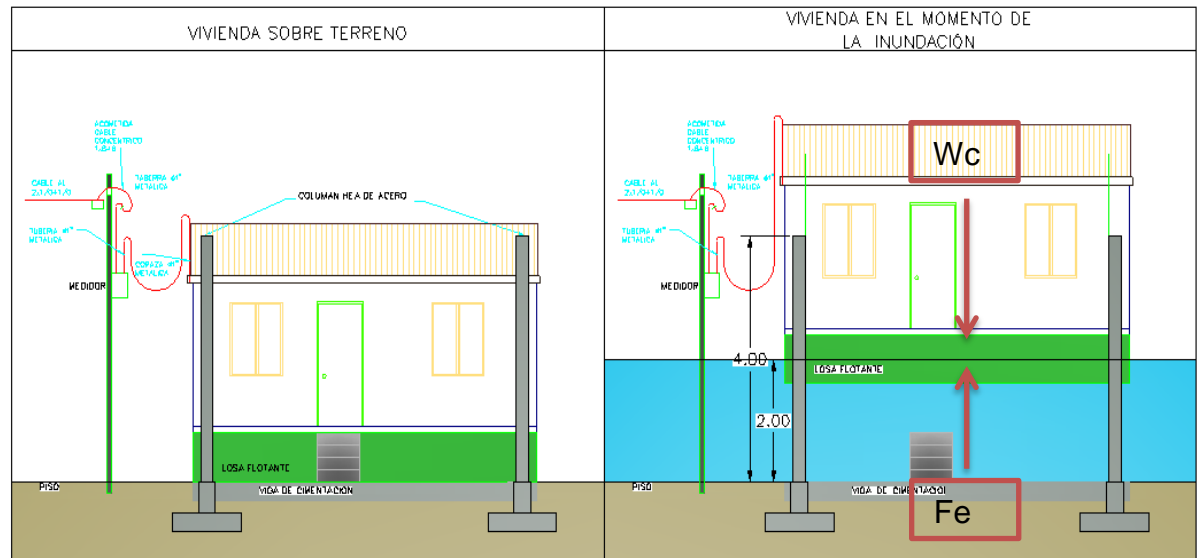
$$M = 12\text{ canecas} \times 12\text{kg} = 144\text{kg}$$

$$\text{Volumen de las canecas} = 12\text{ canecas} \times 114\text{l} = 1368\text{l} = 1,368\text{m}^3$$

Tabla 18. Carga en cada cercha principal de la estructura flotante.

VIGAS						
DESCRIPCION	A	B	C	1	2	3
AFERENCIA (m)	0,69	1,48	0,79	0,74	1,48	0,74
CARGA MUERTA	1,74	3,73	1,99	1,87	3,73	1,87
CARGA VIVA	1,24	2,66	1,42	1,33	2,66	1,33
CARGA EXTERNA ULTIMA MAYORADA	4,07	8,74	4,66	4,37	8,74	4,37

Figura 44. Diagrama de cuerpo libre



Ec. (1)

$$F_e = m * g = \rho * g * v$$

$$F_e = W_c$$

$$\rho * g * v = W_c$$

$$\cancel{\rho * g * v} = \cancel{m * g}$$

1000KG/M3 (Vol. Despl. Perfiles + vol. Despl. Canecas)= (w casa + w perfiles + w canecas)

$$1000\text{gk/m}^3 (2,64\text{m}^3 + 9,288\text{m}^3) = (6085\text{kg} + 2481,6 \text{ kg} + 684 \text{ kg})$$

$$11,423\text{kg} = 9250\text{kg}$$

$$F_e > W_c$$

FLOTA

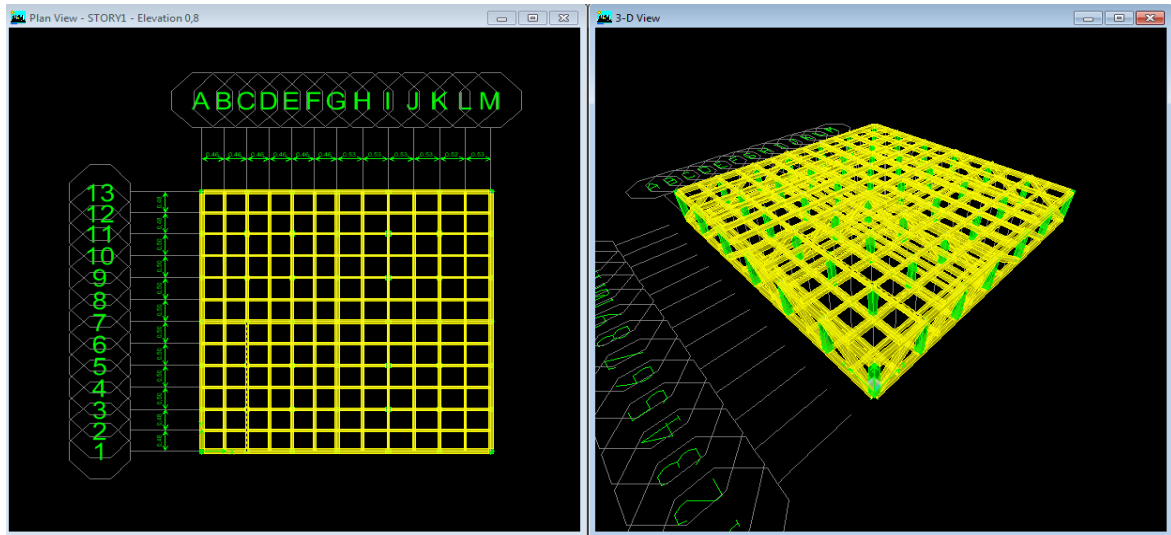
### 6.1.2 Diseño en ETABS vivienda real

**Paso 1- Modelo.** Se insertan las dimensiones de la estructura según lo indicado en el plano en AUTOCAD.

**Paso 2 – Propiedades de materiales:** Con los resultados de los ensayos de laboratorio se determinan las propiedades necesarias para definir el material en el programa.

**Paso 3 – Sección a utilizar:** Se utilizan perfiles cuadrados de 10cm x 10cm para la armadura con columnetas, diagonales, vigas perimetrales y las centrales. Para las vigas en dos direcciones de la parte de arriba y debajo de la cercha se utiliza perfiles de 5cm x 10cm.

Figura 45. Estructura flotante en perfiles de madera plastica



**Paso 4- Asignación de cargas verticales.** Se aplican las fuerzas a la estructura generadas por la carga muerta peso de las vivienda en estructura liviana (muros, cubierta, piso y acabados) y carga viva. En el momento de la inundación las canecas ejerce una fuerza hacia arriba dando como resultado fuerzas aplicadas sobre los perfiles comportandose como un patín. Para garantizar el comportamiento de la estructura sometida a fuerzas que generan deflexion en los elementos se diseñan columnas verticales .

**Paso 5 – Chequeo a compresión.** Después de aplicar la carga en cada punto se procede a correr el programa para que genere las fuerzas máximas a las que está

sometida la estructura y se revisa cada elemento para determinar el mayor en este caso a compresion para compararlo con el valor crítico que soporta el elemento y con el ensayo realizado en laboratorio al material.

#### VALOR TEORICO DE FUERZA CRITICA

(Ec.8 )

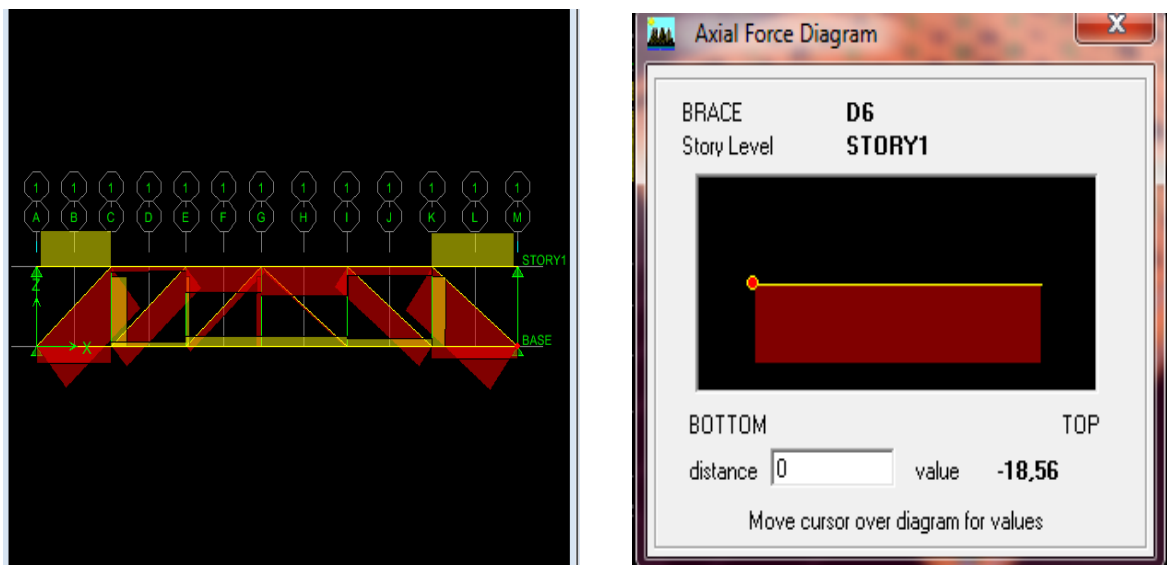
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \left( \frac{1350N}{mm^2} \right) \left( \frac{100^4}{12} \right)}{(2 * 800mm)^2} = 43,37KN$$

Utilizamos un factor de seguridad de 2 para trabajar en el rango elastico el valor de fuerza critica seria= 43,37KN/2 = 21KN

#### RESULTADO DE LABORATORIO A COMPRESION

La carga máxima que soportó el material en el ensayo fue 137, 1KN para una muestra con menos dimensiones que la de esta estructura, por tal razón se aplica un factor de seguridad del 2 para trabajar en el rango elástico, la fuerza máxima sería 137,1KN/2= 68,55KN.

Figura 46. Carga máxima a compresión en elemento de la estructura



El mayor valor de fuerza a compresión en los elementos arrojado por el programa fue de 18,56 KN , para verificar que si cumple debe dar mayor al valor teórico y el obtenido en laboratorio dando como resultado:

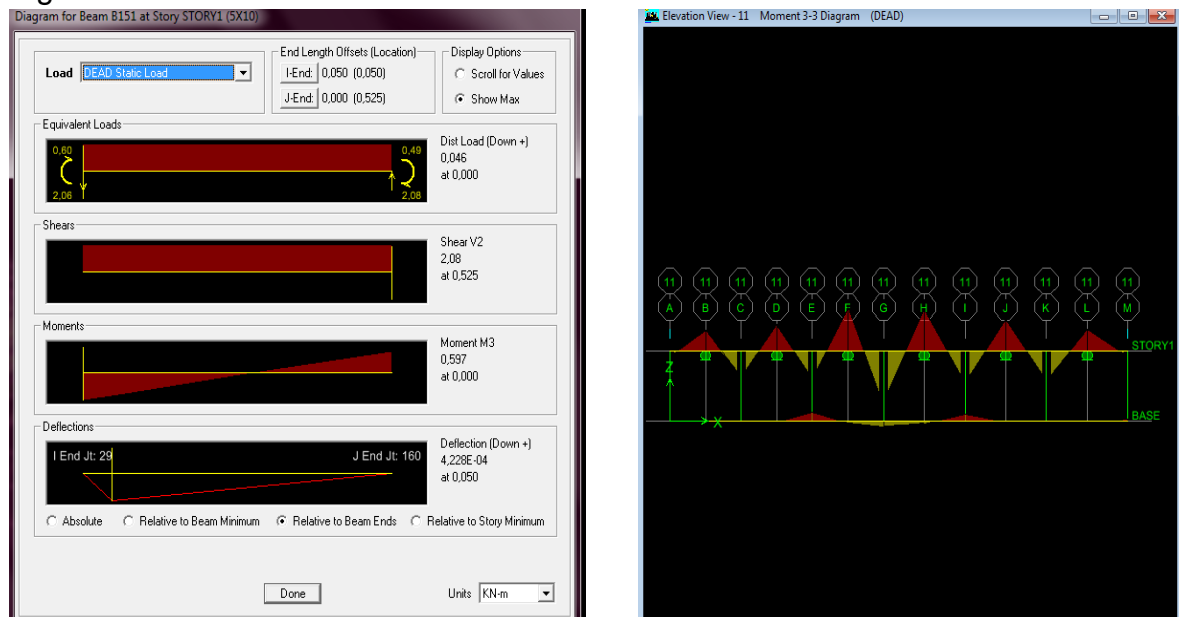


$$18,56\text{KN} < 21\text{KN} < 68,55\text{KN}$$

## CUMPLE

**Paso 6 – Chequeo a flexión.** Se determina el mayor valor de momento a flexión entre los elementos de la estructura y se determina el esfuerzo y se compara con el esfuerzo obtenido en el ensayo de laboratorio.

Figura 47. Momento máximo a flexión en elemento de la estructura



El valor máximo obtenido con el programa fue de 0,597 KN\*m el esfuerzo sería:

(Ec.9)

$$\sigma = \frac{0,597 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}(50\text{mm})}{\frac{100^4}{12}} = 3,58\text{MPa}$$

## RESULTADO DE LABORATORIO A FLEXION

El esfuerzo máximo del material obtenido del ensayo de laboratorio es de 28 MPa tomamos un factor de seguridad de 2 y resulta un esfuerzo de 14 MPa

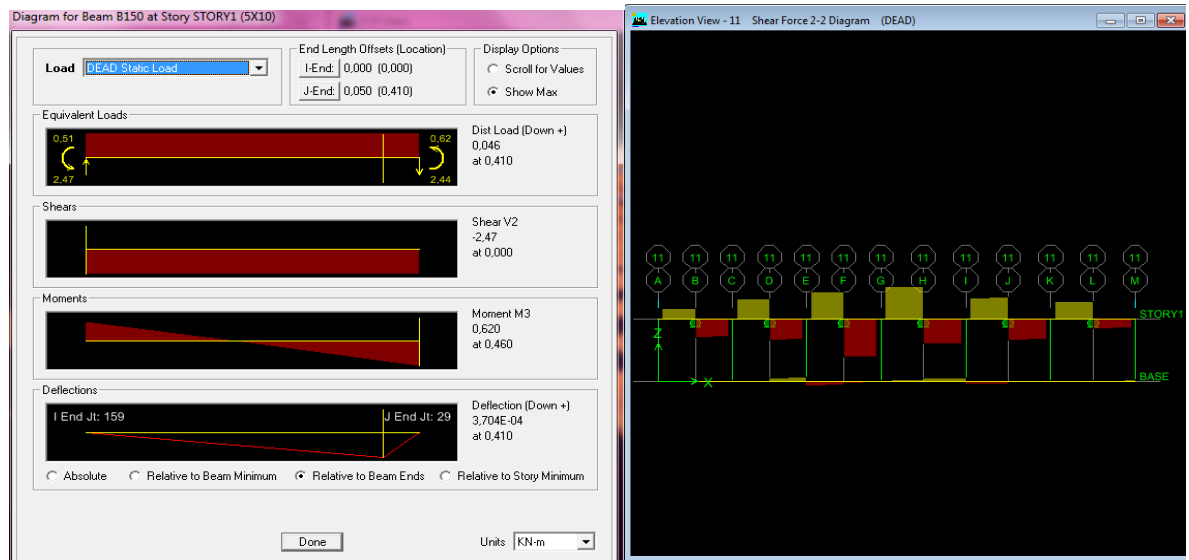
El esfuerzo obtenido de comportamiento de la estructura en su elemento mas critico es de:

$$3,58 \text{ MPa} < 14 \text{ MPa}$$

CUMPLE

**Paso 7 – Chequeo a cortante.** Se verifica cada elemento de la estructura para determinar el mayor valor a cortante, se determina el esfuerzo y se compara con el valor obtenido del ensayo de laboratorio.

Figura 48. Cortante máximo en elemento de la estructura



El mayor valor a cortante obtenido en el programa fue de 2,47 KN el esfuerzo seria:

(Ec.10)

$$\sigma = 1,5 \frac{2,47 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{100 \text{ m} \cdot 50 \text{ m}} = 0,329 \text{ MPa}$$

El valor obtenido en los ensayos de laboratorio fue de 13,42 MPa afectado por un factor de seguridad de 2 seria 6,7MPa

$$0,329 \text{ MPa} < 6,7 \text{ MPa}$$

CUMPLE

### 6.1.3 Construcción prototipo flotante

El sistema implementado para la estructura flotante esta conformado por tanques plásticos y estructura en forma de cercha en madera plástica, para observar y

analizar el comportamiento del sistema se realizo un modelo, como se observa en la siguiente Figura 48.

El prototipo permite analizar el comportamiento de la estructura al aplicarle diferentes cargas y por medio del principio de Arquímedes se verifica la fuerza de empuje que genera y la carga máxima que puede soportar.

Figura 49. Prototipo del Sistema de flotación de la vivienda.



**Se realizó prototipo con 6 recipientes para hacer ensayo de viabilidad.**

$$v = \#recipientes * vol\ recip = 6\ recipientes * 0,02 = 0,12m^3$$

- **Registro fotográfico del ensayo con un prototipo**

Figura 50. Prototipo flotante



Figura 51. Prototipo con peso



Figura 52. Peso a soportar



Figura 53. Prototipo sobre el terreno



Figura 54. Ensayo Losa flotante

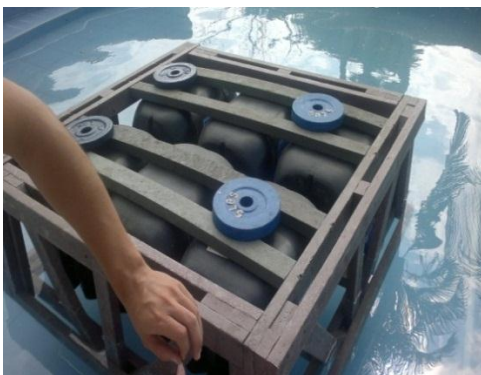


Figura 55. Medición parte sumergida



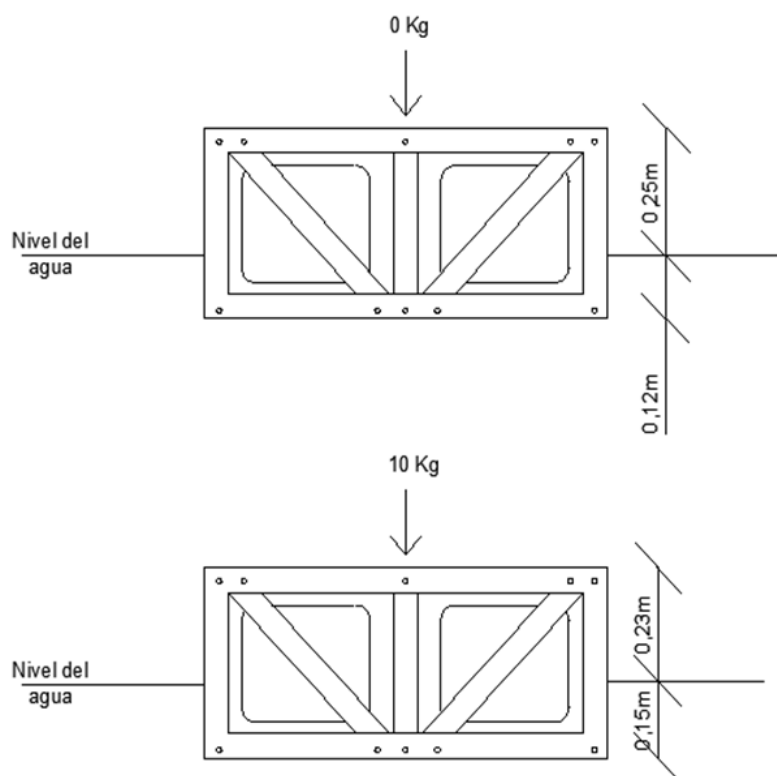
A continuación se presenta la tabla de las medidas tomadas en campo con respecto al peso colocado en el prototipo de losa flotante en el ensayo.

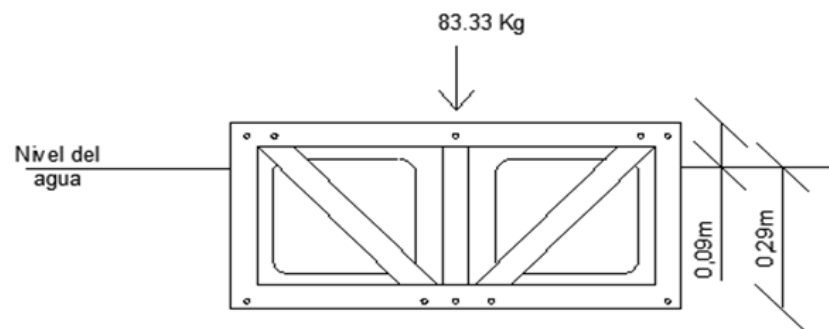
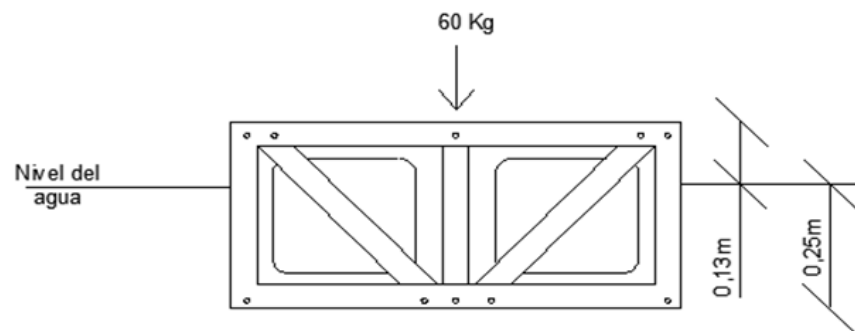
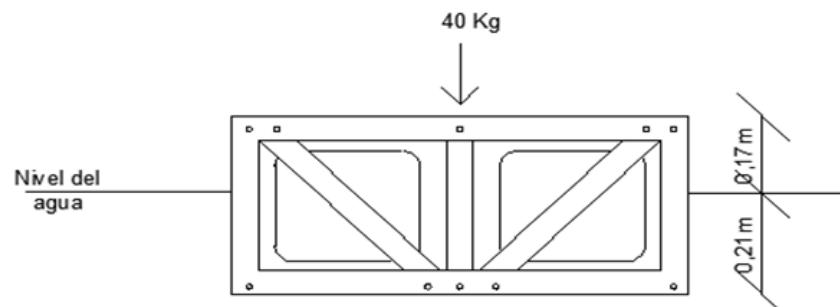
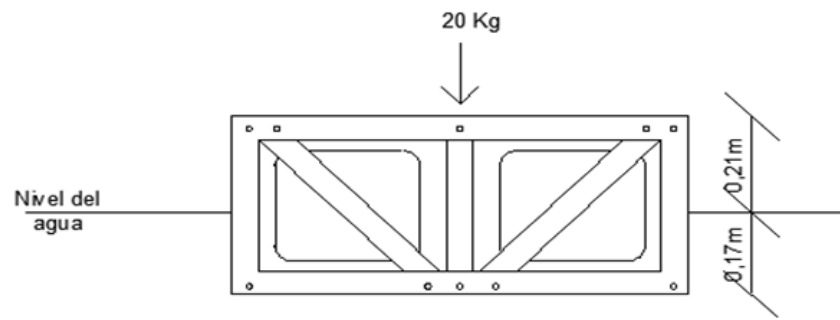
Tabla 19. Cuadro de resultados prototipo flotante

PESO (Kg)	LINEA DE FLOTACION (M)	
	OBRA MUERTA	OBRA VIVA
0	0,25	0,12
10	0,23	0,15
20	0,21	0,17
40	0,17	0,21
60	0,13	0,25
83,33	0,09	0,29

La siguiente Figura 56. Es una representación grafica de la estructura flotante sumergida en función del peso colocado sobre el, durante el ensayo en campo.

Figura 56. Representación grafica del ensayo.





#### 6.1.4 Verificación del prototipo

Se utilizan perfiles cuadrados de 2,5cm x 5cm para las la armadura con columnas, diagonales, vigas perimetrales y las centrales.

Volumen de perfil 0,025m x 0,05 m x 1m = 0,00125m<sup>3</sup>

- **Longitud y volumen total de perfiles utilizados de 10cm x10cm**

L= 29m

V = (29m x 0,025m x 0,05m)= 0,036 m<sup>3</sup>

- **Volumen total de los perfiles de la armadura que protege los tanques**

V= 0,036m<sup>3</sup>

- **Peso específico de la madera plástica**

0,94g/cm<sup>3</sup>  940kg/m<sup>3</sup>

1m<sup>3</sup>  940kg

- **Masa total de los perfiles**

Mt= 940kg\* 0,036m<sup>3</sup>= 34kg

- **Canecas plásticas 22 litros**

M= 6 canecas x 1, 5 kg= 9 kg

Volumen de las canecas = 6 canecas x 22 l= 132 l= 0,132 m<sup>3</sup>

(Ec.7)

$$Fe = m * g = \rho * g * v$$

$$Fe = Wc$$

$$\rho * g * v = Wc$$

$$\rho * \cancel{g} * v = m * \cancel{g}$$

1000KG/M3 (Vol. Despl. Perfiles + vol. Despl. Canecas)= (w casa + w perfiles + w canecas)

$$1000\text{kg/m}^3 (0,036\text{m}^3 + 0,132\text{ m}^3) = (169,03\text{ kg} + 34\text{ kg} + 9\text{ kg})$$

$$168\text{ kg}=212,03\text{ kg}$$

$$F_e < W_c$$

NO CUMPLE

Después de construir el modelo en un metro cuadrado ( $1\text{ m}^2$ ) se verifica si la Fuerza de empuje es mayor o igual a la carga vertical obtenida del peso de la vivienda, peso de la estructura flotante y canecas. Al verificar el modelo a escala la fuerza de empuje dio menor al peso vertical lo que indica que el prototipo construido no flota. A continuación se presentan los cálculos y diseños de un nuevo prototipo.

#### 6.1.5 Prototipo de la estructura flotante a escala

- Volumen de los perfiles en madera plástica real

Longitud y volumen total de perfiles utilizados de 10cm x10cm

$$L = 131,1\text{m} + 12,8\text{m} = 144\text{m}$$

$$V = (144 \times 0,10\text{m} \times 0,10\text{m}) = 1,44\text{ m}^3$$

Longitud y volumen total de perfiles utilizados de 5cm x10cm

$$L = 240\text{ m}$$

$$V = (240 \times 0,05\text{ m} \times 0,10\text{ m}) = 1,2\text{ m}^3$$

Volumen total de los perfiles de la armadura que protege los tanques

$$V = 1,44\text{ m}^3 + 1,2\text{ m}^3 = 2,64\text{ m}^3$$

- Volumen de los perfiles en madera plástica modelo

$$\text{VOL} = 2,64\text{m}^3 \quad \longrightarrow \quad 36\text{ m}^2$$

$$x \quad \longrightarrow \quad 1\text{ m}^2$$

$$x = 0,0733\text{ m}^3$$



- Peso de los perfiles en madera plástica real

Peso específico de la madera plástica

$$0,94 \text{ g/cm}^3 \longrightarrow 940 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 940 \text{ kg}$$

Masa de los perfiles utilizados de 10 cm x 10 cm

$$\text{Masa} = 9,4 \text{ kg/m} \times 144 \text{ m} = 1353,6 \text{ kg}$$

Masa de los perfiles utilizados de 5 cm x 10 cm

$$\text{Masa} = 4,7 \text{ kg/m} \times 240 \text{ m} = 1128 \text{ kg}$$

Masa total de los perfiles

$$M_t = 2481,6 \text{ kg}$$

- Peso de los perfiles en madera plástica modelo

$$M_t = 2481,6 \text{ kg} \longrightarrow 36 \text{ m}^2$$

$$X \longrightarrow 1 \text{ m}^2$$

$$x = 68,93 \text{ Kg}$$

- Volumen de las canecas en madera plástica

$$36 \text{ canecas} \times 220 \text{ l} = 7920 \text{ l} = 7,920 \text{ m}^3$$

$$12 \text{ canecas} \times 114 \text{ l} = 1368 \text{ l} = 1,368 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total} = 9,288 \text{ m}^3 \longrightarrow 36 \text{ m}^2$$

$$X \longrightarrow 1 \text{ m}^2$$

$$x = 0,258 \text{ m}^3 = 258 \text{ litros}$$

USANDO TARROS DE 30 LITROS  $258 \text{ L} / 30 \text{ L} = 8,6 \text{ TARROS}$

- Peso de las canecas en madera plástica

Canecas plásticas 220 litros

$$M = 36 \text{ canecas} \times 15 \text{ kg} = 540 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de las canecas} = 36 \text{ canecas} \times 220 \text{ l} = 7920 \text{ l} = 7,920 \text{ m}^3$$

Canecas plásticas 114 litros

$$M = 12 \text{ canecas} \times 12 \text{ kg} = 144 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de las canecas} = 12 \text{ canecas} \times 114 \text{ l} = 1368 \text{ l} = 1,368 \text{ m}^3$$

$$\text{PESO TOTAL} = 684 \text{ Kg} \quad \longrightarrow \quad 36 \text{ m}^2$$

$$X \quad \longrightarrow \quad 1 \text{ m}^2$$

$$x = 19 \text{ kg}$$

Canecas de 30 litros pesan 2 kilos \* 9 tarros = 18 kg aumentamos 1 kilos más encima del modelo

- Peso de la casa

$$\text{Peso total } 6085 \text{ kg} \quad \longrightarrow \quad 36 \text{ m}^2$$

$$x \quad \longrightarrow \quad 1 \text{ m}^2$$

$x = 169,03 \text{ kg}$  este es el peso que se le pone encima a la losa flotante a escala más 1 kilo que queda faltando de las canecas

**Usando perfil de 5cm \* 5cm**

$$\text{Volumen de perfil} = 0,05 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,0025 \text{ m}^3$$

- Peso específico de la madera plástica

$$0,94 \text{ g/cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 940 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \quad \longrightarrow \quad 940 \text{ kg}$$

$0,0025 \text{ m}^3 * 940 \text{ kg} = 2,35 \text{ kg}$  el metro de perfil de  $5 \text{ cm} * 5 \text{ cm}$

$24,48 \text{ m}$  de perfil de  $5 \text{ cm} * 5 \text{ cm} = 57,528 \text{ kg}$  queda faltando  $68,93 \text{ kg} - 57,528 \text{ kg} = 11,402 \text{ kg}$

### Usando perfil de $2,5 \text{ cm} * 5 \text{ cm}$

Volumen de perfil =  $0,025 \text{ m} * 0,05 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0,00125 \text{ m}^3$

- Peso especifico de la madera plástica

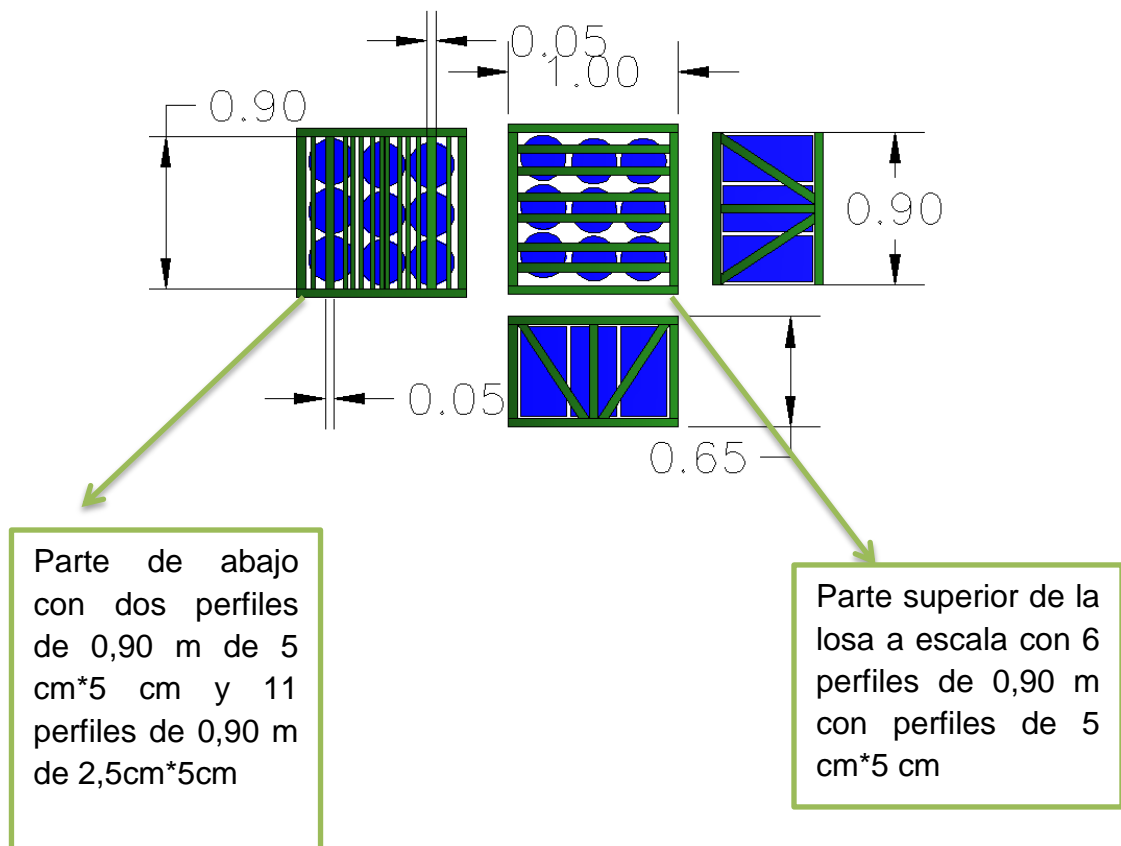
$0,94 \text{ g/cm}^3 \longrightarrow 940 \text{ kg/m}^3$

$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 940 \text{ kg}$

$0,00125 \text{ m}^3 * 940 \text{ kg} = 1,175 \text{ kg}$  el metro lineal de perfil  $2,5 \text{ cm} * 5 \text{ cm}$

Se utilizan  $9,70 \text{ m}$  de este perfil en la parte de debajo del modelo

Figura 57. Diseño de prototipo a escala



## 7.4 DISEÑO ESTRUCTURAL

Tabla 20. Parámetros del suelo.

PARÁMETRO	RESULTADO
Angulo de fricción interna del suelo ( $\phi$ )	31°
Cohesión ( C )	2,0 T/m <sup>2</sup>
Peso Unitario Húmedo del suelo ( $\gamma$ )	1,75 T/m <sup>3</sup>
Capacidad Portante del Suelo ( $\sigma$ )	15,2 T/m <sup>2</sup>

*Fuente: Sigifredo Cortes y Rodrigo Duran, Informe geotécnico y recomendaciones de cimentación proyecto edificación de 3 pisos con sótano, carrera 3 no. 13-20 – lote parqueaderos Cartago; Valle del cauca*

Tabla 21. Características de diseño

Tipo de estructura	Vivienda
Numero de Pisos	1
Ubicación	Cartago, Valle del cauca
Tipo de perfil Suelo	E
Peso de la vivienda y estructura flotante	9250kg
F'c	21MPa
Fy	420MPa
Área	36 m <sup>2</sup>
Materiales	Concreto, acero....

### 7.4.1 Vigas de cimentación

- **Cálculos de dimensiones:** una sección de 30 cm de ancho y 30 cm de alto lo que da una sección transversal de 900 m<sup>2</sup> mayor a la minima recomendada esto para garantizar un comportamiento adecuado al nivel de carga de servicio

Figura 58. Diseño vigas de cimentación en planta

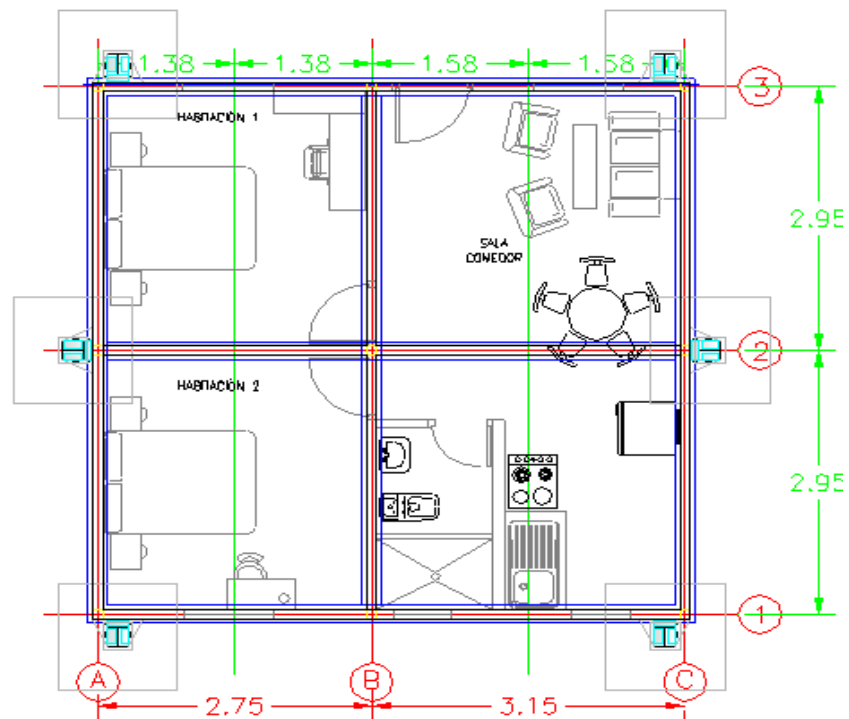


Figura 59. Áreas de aferencia de las vigas de cimentación

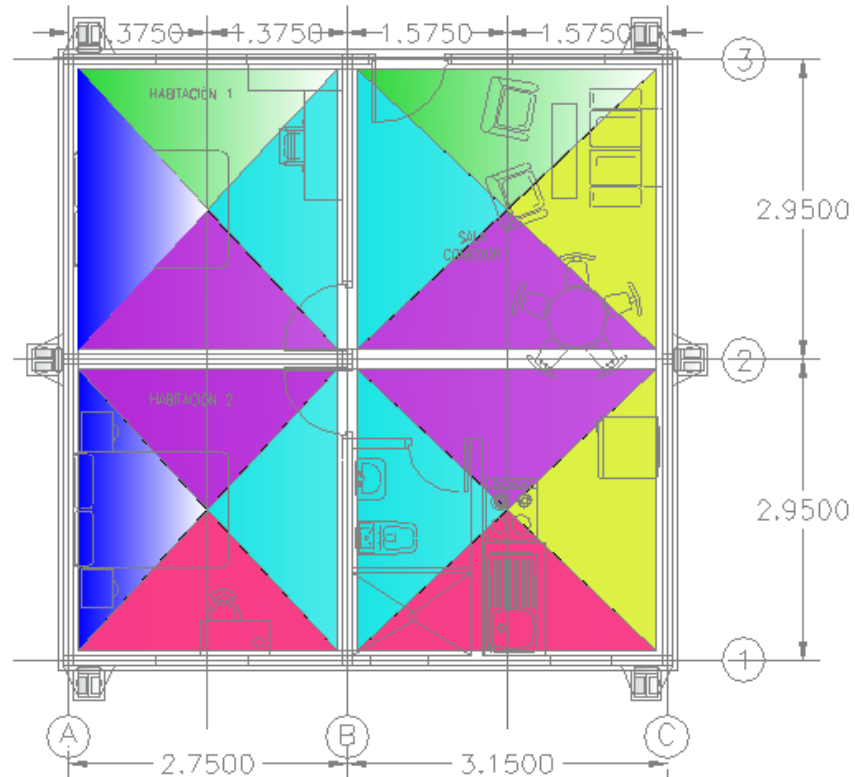


Tabla 22. Definición de dimensiones y cargas en las vigas de cimentación.

Altura viga (m)	Ancho viga (m)	Área viga (m <sup>2</sup> )	Peso específico concreto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso propio viga (KN/m)	Peso sistema liviano (Kg)	Peso estructura flotante (Kg)	Peso canecas plásticas (Kg)	Área Vivienda (m <sup>2</sup> )	Carga total (KN/m <sup>2</sup> )
0,30	0,30	0,09	2.400,00	2,12	6.085,00	2.481,60	684,00	36,00	2,52

Tabla 23. Distribución de cargas en vigas de cimentación

VIGAS						
DESCRIPCION	A	B	C	1	2	3
AFERENCIA (m)	0,69	1,48	0,79	0,74	1,48	0,74
CARGA MUERTA	3,86	5,85	4,11	3,98	5,85	3,98
CARGA VIVA	1,24	2,66	1,42	1,33	2,66	1,33
CARGA EXTERNA ULTIMA MAYORADA	6,62	11,28	7,21	6,91	11,28	6,91

Se diseña para 11,28(KN/m)

- **Momento externo ultimo**

(Ec. 16)

$$Mu = \frac{11,28 \text{ KN/m} * (3 \text{ m})^2}{9} = 11,28 \text{ KN} * m$$

- **Esfuerzo cortante externo**

(Ec. 17)

$$Vu = \frac{1,15 * 11,28 \frac{\text{KN}}{\text{m}} * 3 \text{ m}}{2} = 19,46 \text{ KN}$$

- **Área necesaria de cimentación**

(Ec. 18)

$$A = \frac{P}{\sigma} = \frac{11,28 \text{KN/m}}{148,96 \text{KN/m}^2} = \frac{0,075 \text{m}^2}{m}$$

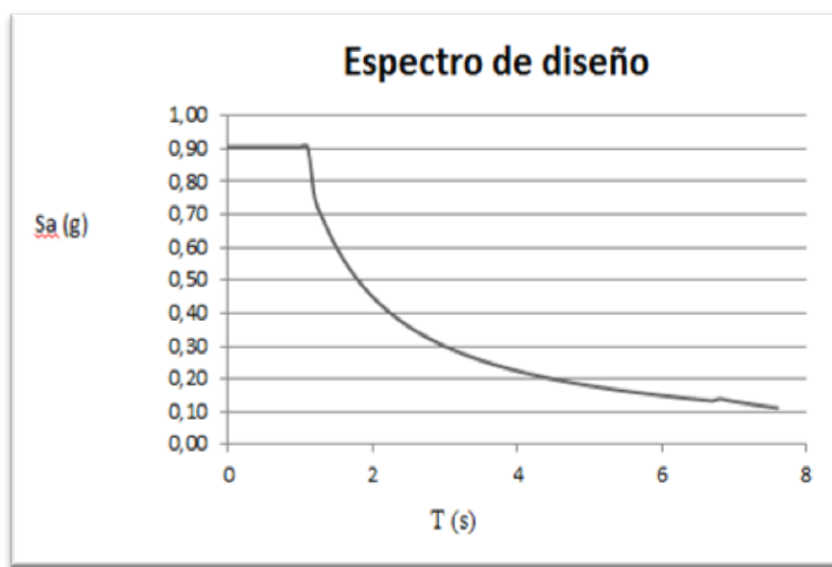
Área utilizada  $0,09 \text{ m}^2 > 0,075 \text{ m}^2$  cumple

- **Forma:** Para este caso tenemos un ancho de 6 m y largo de 6 m teniendo como resultado un área de  $36 \text{ m}^2$ .

Tabla 24. Datos para graficar el espectro de diseño

Importancia (I)	1
Aceleración pico efectiva roca (Aa)	0,25
Velocidad pico efectiva roca (Av)	0,25
Factor de amplificación de aceleraciones suelo (Fa)	1,45
Factor de amplificación de velocidad suelo (Fv)	3
Limite de dominio de aceleraciones (TC)	0,99 s
Inicio de periodos largos (TL)	7,2 s

Figura 60. Espectro elástico de Aceleraciones de diseño.



(Ec. 22)

$$V_s = 0.91 * \frac{9.81m}{s^2} * 9250kg = 82575,7N = 82,6KN$$

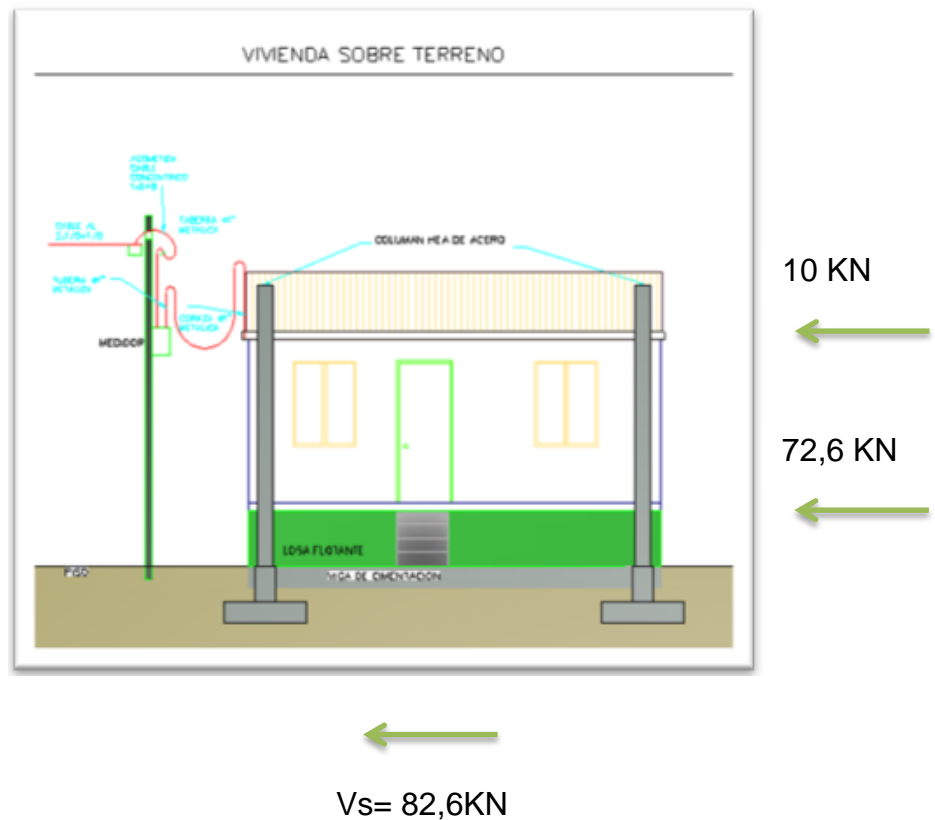
(Ec. 23)

$$Ta = 0,047 * 4,3m^{0.9} = 0.17 \text{ s}$$

Tabla 25. Datos de la estructura.

Descripción	M(kg)	H(m)	M*h	M*h <sup>k</sup>	Cvx	Fx
Cubierta	315,73	3,10	978,76	978,76	0,121	10,00
Piso 1	8.884,27	0,80	7.107,42	7.107,42	0,879	72,60
Total	9.200,00			8.086,18	1,000	82,60

Figura 61. Cortante sísmico en la base y fuerza sísmica del piso.





## DISEÑO A FLEXIÓN

- **Cuantía mínima**

(Ec. 26)

$$\rho = \rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{21}}{420} = 0,27\%$$

(Ec. 27)

$$\rho = \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,33\% \quad \text{el mayor}$$

- **Cuantía balanceada**

(Ec. 28)

$$\rho_b = \frac{0,85(21MPa)(0,85)}{420MPa} \left( \frac{600}{600 + 420MPa} \right) = 0,02125$$
$$\rho_b = 2,125\%$$

- **Cuantía elegida**

$$\rho = 0,60\%$$

$$\rho_{min} \leq \rho$$

$$0,33\% \leq 0,70\%$$

- **Acero en tensión**

(Ec. 30)

$$A_s = \rho_{db} = \frac{0,70\%}{100} (22,5cm)(30cm) = 4,72cm^2 = 4,72 \times 10^{-4}m^2$$

- **Momento flector interno resistente**

(Ec. 32)

$$a = \frac{(4,72 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(420 \text{ MPa})}{0,85(21 \text{ MPa})(0,30 \text{ m})} = 0,0370$$

(Ec. 31)

$$M_n = (4,72 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(420 \text{ MPa}) \left( 0,225 \text{ m} - \frac{0,0370}{2} \right) = 0,04093 \frac{M_n}{m} = 40,93 \text{ kn/m}$$

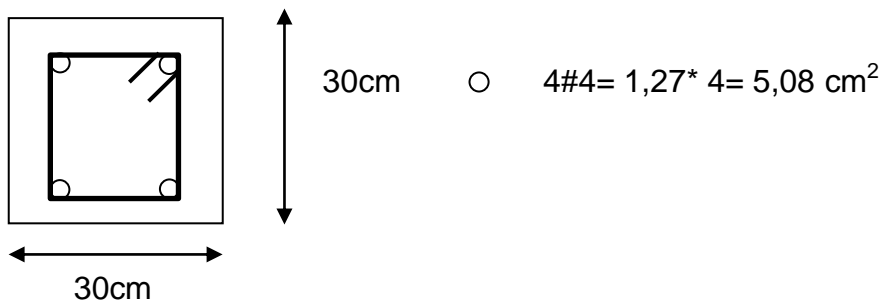
$$\phi M_n = 40,93(0,9) = \frac{36,84 \text{ kn}}{m}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$36,84 \text{ KN/m} > 12 \text{ KN/m}$$

- **Despiece**

$$A_s = 4,72 \text{ cm}^2$$



## DISEÑO A CORTANTE

- La capacidad resistente del concreto

(Ec. 33)

$$V_c = 0,17(1)\sqrt{21MPa}(0,30m)(0,225m) = 0,05258Mn = 52,58Kn$$

### Esfuerzo cortante externo

$$V_u = 20kn$$

$$V_c > V_u$$

Usando #2

Concreto resiste todo el cortante acero minimo Zona confinada usando estribo numero 2 cada 10cm

E2(1R)@10cm

Figura 62. Diseño de acero transversal de la viga



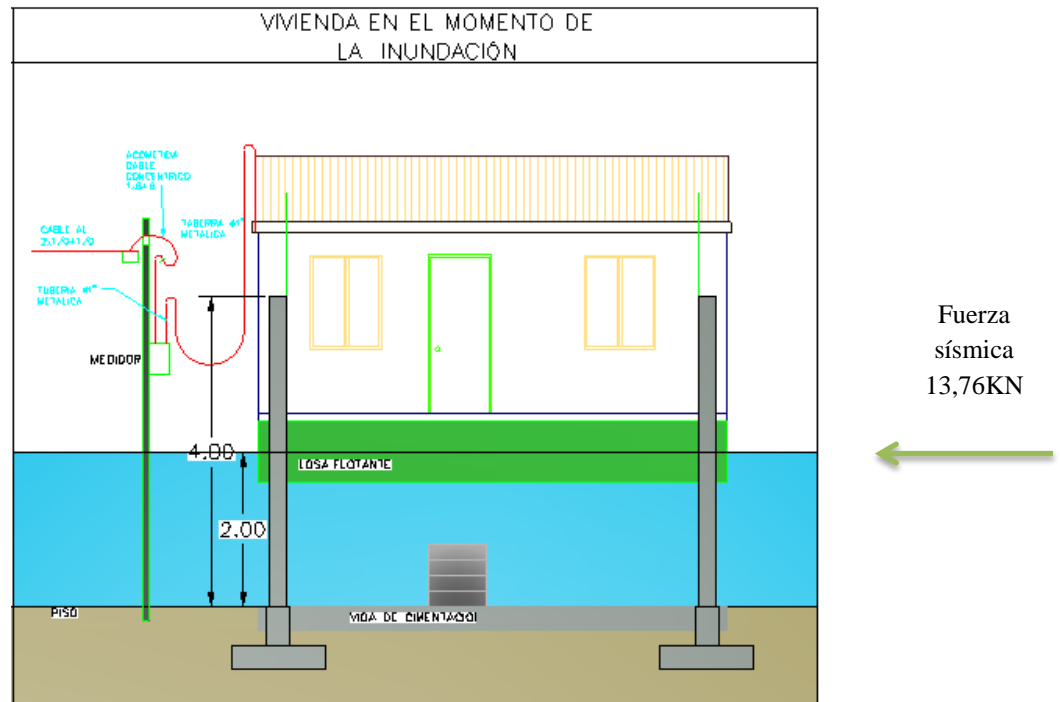
#### 7.4.2 Diseño estructural de las guías verticales

- Momento de la viga de acero:  $V_s / \# \text{ guías} = 82,6/6 = 13,76(\text{KN})$

(Ec. 34)

$$M = 13,76\text{KN} * 2\text{m} = 27,52\text{KN/m}$$

Figura 63. Fuerza sísmica en el perfil HEA



- Inercia del perfil HEA

(Ec. 35)

Despejando de la ecuación

$$I = \frac{Pb^2(3L - b)}{6E\Delta_{max}}$$

$$I = \frac{1403kg(200cm)^2(3 * 400cm - 200cm)}{6 * 2000000mpa * 2,79cm} = 1666,67cm^4$$

Tabla 26. Propiedades del Perfil de acero HEA

# Vigas HEA

I= .Momento de Inercia.

S= Momento de Resistencia.

R=Radio de Inercia, siempre referidos al eje de flexión correspondiente.

Calidades: ASTM-A-36.

ST-37-2.

HEA (I) IPBL	Dimensiones (mm)					Área <i>cm</i> <sup>2</sup>	Peso <i>Kg/m</i>	Momento respecto a los ejes							
	h	b	s	t	r1			EJE-X-X			EJE-Y-Y				
								<i>Ix cm</i> <sup>4</sup>	<i>Sx cm</i> <sup>3</sup>	<i>Rx cm</i>	<i>Iy cm</i> <sup>4</sup>	<i>Sy cm</i> <sup>3</sup>	<i>Ry cm</i>		
100	96	100	5.0	8.0	12	21.2	16.7	349	72.7	4.05	134	26.7	2.51		
120	114	120	5.0	8.0	12	25.3	19.9	606	106.0	4.89	231	38.4	3.02		
140	133	140	5.5	8.5	12	31.4	27.7	1030	155.0	5.73	389	55.6	3.52		
160	152	160	6.0	9.0	15	38.8	30.4	1670	220.0	6.57	615	76.9	3.98		
180	171	180	6.0	9.5	15	45.3	35.5	2510	294.0	7.45	924	103.0	4.52		
200	190	200	6.5	10.0	18	53.8	42.3	3690	389.0	8.28	1330	133.0	4.98		
220	210	220	7.0	11.0	18	64.3	50.5	5410	515.0	9.17	1950	178.0	5.51		

Fuente: Materiales de los andes <http://www.materialeslosandes.com/vigasipn.html>

(Ec. 37)

$$\sigma = \frac{(27,9 \times 10^6 \text{ N} * \text{ mm}) * 110 \text{ mm}}{1950 \times 10^4 \text{ mm}^4} = 154 \text{ Mpa}$$

**Mpa 141 < 250Mpa**

#### 7.4.3 Placa de base de anclaje para columna

Columna de acero es un perfil HEA 220 de acero A36  $F_y = 250 \text{ MPa}$  soporta una carga de 13,65 KN producida por la ocurrencia de un sismo aplicado en las dos direcciones, la cimentación de concreto tiene una resistencia a los 28 días específica de  $f'_c = 21 \text{ MPa}$ .

Tabla 27. Parámetros de diseño placa base de anclaje

CARACTERISTICA	RESULTADO
Sa: aceleración espectral que le corresponde a la estructura. (%g)	0,91
Peso de la vivienda	9250kg=92,5KN
Perfil	HEA 220
Altura aplicación de la fuerza (h)	2m
Número de elementos	6
R0 = coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural.	5

(Ec. 38)

$$V_s = \frac{0.91 * 92,5 \text{ KN}}{6 * 5} = 2,8 \text{ KN}$$

(Ec. 39)

$$M = 2,8 \text{ KN} * 2\text{m} = 5,6 \text{ KN/m}$$

A continuación se diseña una placa de base de acero que ocupe el área total del concreto:

- **La presión de aplastamiento admisible (Fp):**

(Ec. 40)

$$F_p = 0.35f'_c = 0.35 * 21 \text{ MPa} = 7.35 \text{ MPa}$$

- **El área de la placa requerida(A):**

(Ec. 41)

$$A = \frac{P}{F_p} = \frac{0,0028 \text{ MN}}{7,35 \text{ MPa}} = 0,00037 \text{ m}^2$$

- La presión de aplastamiento debida a la carga (fp):

(Ec. 42)

$$p = \frac{0,00279MN}{0,1225m^2} = 0,0222 \text{ MN/m}^2$$

- Proyección de la placa mas allá de los extremos de las aletas (n)

(Ec. 43)

$$n = \frac{(B - 0,80bf)}{2} = \frac{(0,30m - 0,80 * 0,220m)}{2} = 0,062m$$

- Proyección de la placa en dirección perpendicular (m)

(Ec. 44)

$$m = \frac{(N - 0,95d)}{2} = \frac{(0,30m - 0,95 * 0,209m)}{2} = 0,051m$$

- Presiones debajo de la aleta de la placa base( $\sigma$ )

(Ec.45)

$$\sigma = \frac{(5,46 \times 10^6 \text{ N} * \text{ mm}) * 150 \text{ mm}}{675 \times 10^6 \text{ mm}^4} = 2,22 \text{ Mpa}$$

- Espesor requerido de la placa base (tp):

(Ec. 46)

$$Mu = 2,22 \text{ Mpa} * 40 \text{ mm} * \frac{40 \text{ mm}}{2} = 1776 \text{ Nmm}$$

$$tp = \sqrt{\frac{6 * 1776 \text{ Nmm}}{0,9 * 250}} = 6,88 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

- Diseño de pernos de anclaje para placa base

(Ec. 47)

$$C = T = \frac{5,46kn/m}{0,22m - 0,011m} = 26,12kn$$

Fuerza por perno (Fp): 26,12KN / 4 pernos= 6,53 KN

- **Área y diámetro del perno**

$$F_p = 0,90 f_y * A_s$$

$$A_s = \frac{0,00653MN}{420mpa * 0,90} = 1,73 \times 10^{-5} M^2 = 0,173cm^2$$

$$A_s = \frac{(\pi * d^2)}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{(A_s * 4)}{\pi}} = 0,220cm$$

Se utiliza perno de 3/8" = 0,71cm<sup>2</sup>

- **Longitud del perno**

Se determina la longitud del perno de la tabulación de las longitudes de desarrollo de barras corrugadas a tracción  $f_y=420mpa$ ,  $f'_c=21.1$  obteniendo de la barra N° 4 una longitud (mm) de 338.

#### 7.4.4 Zapata para perfil HEA 220

Cargas verticales

- Peso del perfil:  $50,5kg/m * 4m * 9,81m/s^2 = 1,98 KN$
- Peso de la columna :  $0,30m * 0,30m * 0,50m * 2400 kg/m^3 * 9,81m/s^2 = 1,6KN$
- Peso zapata:  $0,30m * 1,20m * 1,20m * 2400kg/m^3 * 9,81 = 10,17KN$
- Peso de la tierra:  $1,2m * 1,2m * 0,50m * 1500kg/m^3 * 9,81m/s^2 = 10,59KN$

Peso total: 1,98KN + 1,6 KN + 10,1 KN + 10,59 KN= 24,27 KN

(Ec. 50)



$$\sigma = \frac{24,27\text{KN}}{1,2\text{m} * 1,2\text{m}} = 16,85\text{KN/m}$$

$$M=PT*D$$

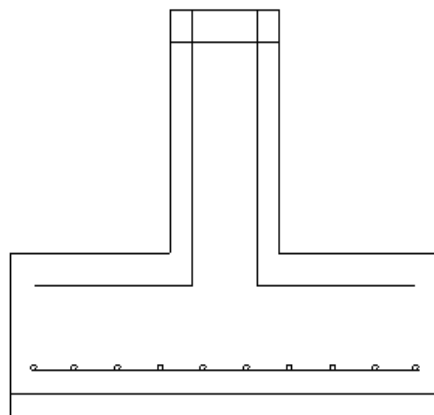
$$M= 24,27\text{KN}*0,60\text{m}= 14,6 \text{ KN/m}$$

$$\text{Factor} = 14,55/10=1,45 \text{ KN/m}$$

$$1,45 \text{ KN/m} > 1,50 \text{ KN/m capacidad del suelo}$$

CUMPLE


Figura 64. Detalle de zapata aislada para perfil HEA



ACERO 1/2" EN DOS  
DIRECCIONES @ 0.10m

ZAPATA 1,20 m X 1,20m X 0,30m

## 8. PRESUPUESTO

	<b>UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIAS</b>  <b>INGENIERIA CIVIL</b>	<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>			
		<b>PROPUESTA DE MODELO DE VIVIENDA FLOTANTE          COMO SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA POR          INUNDACIÓN EN EL BARRIO VILLA JULIANA,          LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE CARTAGO –          VALLE DEL CAUCA.</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>CANT</b>	<b>VR UNITARIO</b>	<b>VR PARCIAL</b>
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				<b>49.896,0</b>
1,1	Localización y replanteo	M <sup>2</sup>	36,00	\$ 1.386,00	\$ 49.896,00
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES</b>				<b>218.508,5</b>
2,1	Excavación en tierra seca de 0 - 2 m, incluye cinta de señalización	M <sup>3</sup>	12,24	\$ 17.852,00	\$ 218.508,48
<b>3</b>	<b>LLENOS</b>				<b>303.421,5</b>
3,1	Lleno compactado con material del sitio	M <sup>3</sup>	4,50	\$ 19.453,00	\$ 87.538,50
3,2	Lleno compactado con material transportado	M <sup>3</sup>	4,50	\$ 47.974,00	\$ 215.883,00
<b>4</b>	<b>SISTEMA FLOTACION</b>				<b>20.363.364,0</b>
4,1	Estructura flotante en perfiles de madera plástica	M <sup>2</sup>	36,00	\$ 565.649,00	\$ 20.363.364,00

	suministro e instalación				
<b>5</b>	<b>CIMENTACIONES</b>				<b>12.145.905,0</b>
5,1	Viga en concreto de 3.000 psi impermeabilizada	M <sup>3</sup>	3,24	\$ 348.950,00	\$ 1.130.598,00
5,2	Zapatas en concreto de 3.000 psi impermeabilizada	M <sup>3</sup>	3,00	\$ 773.003,00	\$ 2.319.009,00
5,3	Perfil de acero HEA 220	ML	24,00	\$ 212.284,00	\$ 5.094.816,00
5,4	Placa de anclaje y pedestal en concreto con mortero autonivelante	UN	6,00	\$ 600.247,00	\$ 3.601.482,00
<b>6</b>	<b>ACEROS</b>				<b>1.424.781,2</b>
6,1	Acero Fy = 37.000 psi	Kg	90,36	\$ 3.365,00	\$ 304.061,40
6,2	Acero Fy = 60.000 psi	Kg	274,35	\$ 4.085,00	\$ 1.120.719,75
<b>7</b>	<b>SISTEMA LIVIANO</b>				<b>19.456.666,5</b>
7,1	Suministro e instalación de columna metálica CAJON DE 0,10 X 0,10 CAL 16	MI	23,13	\$ 59.761,00	\$ 1.382.271,93
7,2	Suministro e instalación de VIGAS PERLIN CAJON DE 0,10 X 0,10 CAL 16	MI	29,66	\$ 59.761,00	\$ 1.772.511,26
7,3	Entrepiso en superboard y perfilaría metálica	M <sup>2</sup>	36,00	\$ 94.279,00	\$ 3.394.044,00
7,4	Muros de Cerramiento Superboard	M <sup>2</sup>	57,17	\$ 72.909,00	\$ 2.208.413,61
7,5	Muros Internos Gyplack	M <sup>2</sup>	30,29	\$ 31.765,00	\$ 537.463,80

7,6	Muros Internos Superboard	M <sup>2</sup>	16,92	\$ 57.152,00	\$ 2.388.953,60
7,7	Cubierta	M <sup>2</sup>	41,80	\$ 55.761,00	\$ 1.019.311,08
7,8	Canal PVC tipo Amazonas	M	18,28	\$ 34.271,00	\$ 626.473,88
7,9	Cielo falso en aluminio natural e icopor lámina limpia pintada	M <sup>2</sup>	36,00	\$ 15.426,00	\$ 555.336,00
8	Puerta corrediza PVC	Un	3,00	\$ 105.559,00	\$ 316.677,00
8,1	Puerta en lámina C 20 0,60 x 2,05 m, incluye anticorrosivo, pintura, chapa, manija y tope	Un	1,00	\$ 295.030,00	\$ 295.030,00
8,2	Ventana en aluminio con acrílico	M <sup>2</sup>	4,17	\$ 826.661,00	\$ 3.447.176,37
8,3	Piso en baldosa de cemento de 25 x 25 cm	M <sup>2</sup>	36,00	\$ 25.281,00	\$ 910.116,00
8,4	Enchape en cerámica pared	M <sup>2</sup>	13,00	\$ 46.376,00	\$ 602.888,00
<b>9</b>	<b>INSTALACIONES HIDROSANITARIAS</b>				<b>1.074.903,0</b>
9,1	Acometida hidráulica en tubería PVC de 1/2"	M	10,00	\$ 4.177,00	\$ 41.770,00
9,2	Punto hidráulico PVC de 1/2" (3 m) para mampostería seca	Pto	6,00	\$ 24.378,00	\$ 146.268,00
9,3	Domiciliaria de 1/2"	Un	1,00	\$ 32.272,00	\$ 32.272,00
9,4	Registro de corte de 1/2"	Un	1,00	\$ 20.933,00	\$ 20.933,00
9,5	Llave de paso de 1/2" tipo Red White	Un	1,00	\$ 47.771,00	\$ 47.771,00

9,6	Tubería PVC sanitaria de 2", incluye accesorios	M	15,00	\$ 16.282,00	\$ 244.230,00
9,7	Punto sanitario PVC de 2" (3 m), en mampostería seca	Pto	5,00	\$ 56.994,00	\$ 284.970,00
9,8	Tubería PVC sanitaria de 4", incluye accesorios	M	5,00	\$ 28.659,00	\$ 143.295,00
9,9	Punto sanitario PVC de 4" (3 m), en mampostería seca	Pto	1,00	\$ 113.394,00	\$ 113.394,00
<b>10</b>	<b>INSTALACIONES ELECTRICAS</b>				<b>2.761.537,0</b>
10,1	Sistema a tierra general	UN	1	213.749	213.749
10,2	Acometida tablero TP a TC en cable de cobre THHN, 1 No 8 ( F ) + 1 No 8 ( N )+ 1 No 8 ( T ) , Ø= 1"	ML	20	13.618	272.360
10,3	Acometida tablero TC a red secundaria en cable de cobre antifraude 1x8+8, Ø= 1"	ML	8	12.682	101.456
10,4	Acometida tablero TP a TC en cable de cobre THHN, 1 No 8 ( F ) + 1 No 8 ( N )+ 1 No 8 ( T ) , Ø= 1" coraza metálica flexible	ML	6	17.266	103.596
10,5	Caja para contador monofásico norma CHEC	UN	1	112.612	112.612
10,6	Tablero monofásico 6 circuitos TP	UN	1	167.183	167.183
10,7	Salida alumbrado incandescente + tierra	UN	6	35.098	210.588
10,8	Salida interruptor sencillo	UN	2	36.290	72.580

10,9	Salida interruptor sencillo conmutable	UN	5	44.331	221.655
10,1,1	Salida interruptor doble conmutable	UN	1	45.321	45.321
10,1,2	Salida tomacorriente doble con polo a tierra	UN	14	48.662	681.268
10,1,3	Salida tomacorriente doble con polo a tierra GFCI	UN	2	84.796	169.592
10,1,4	Salida toma especial estufa 1# 10, 1# 10+ 1# 10 (T), Ø 3/4", L aprox 5 m	UN	1	68.553	68.553
10,1,5	Salida toma teléfono	UN	3	40.538	121.614
10,1,6	Salida Televisión	UN	3	43.252	129.756
10,1,7	Salida interruptor timbre	UN	1	41.259	41.259
10,1,8	Salida timbre zumbador	UN	1	28.395	28.395
<b>11</b>	<b>OTROS</b>				<b>357.554,0</b>
11,1	Escalera en concreto 3.000 psi impermeabilizada aéreas espesor rampa = 0,15 m	m2	2,00	\$ 178.777,00	\$ 357.554,00
	<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 58.156.536,66</b>

## 9. CONCLUSIONES

El sistema de vivienda planteado en esta investigación tiene la capacidad de flotar y adaptarse a los cambios en el nivel del agua desbordada de los ríos en las épocas de lluvia dando solución a las consecuencias del cambio climático en el municipio de Cartago Valle y en el resto del país. A través de una estructura construida con perfiles de madera plástica en forma de una cercha cuadrada se compone de vigas perimetrales y centrales, canecas plásticas de 114 y 220 litros que generan una fuerza de empuje de 11423 kg capaz de soportar el peso generado por la vivienda de 9250kg.

La estabilidad de la vivienda al momento de la flotación depende principalmente de la distribución de las canecas plásticas en la estructura flotante y de las guías verticales por medio perfiles de acero donde se deslizan unos carros soldados a la vivienda con 3 rodillos de nylon que garantizan el adecuado desplazamiento del conjunto. Debido a que Cartago se encuentra ubicado zona de amenaza sísmica alta se diseñaron perfiles capaces de soportar un sismo aplicado en las dos direcciones dando como resultado 6 perfiles HEA 220 de acero A36  $F_y = 250$  MPa que soporta una carga de 13,76KN cada uno, los perfiles se apoyan sobre una zapata aislada y una placa base anclada de 30cm \* 30cm y  $e = 10$ mm

Se determinó por medio del chequeo estructural en ETABS que la estructura flotante al aplicarle las fuerzas de sismo, las cargas muertas y vivas cumple a compresión ya que se determinó el valor máximo en sus elementos de 18,56 KN < 21KN valor de laboratorio, cumple a flexión ya que el esfuerzo obtenido de comportamiento de la estructura en su elemento más crítico fue de 3,58 MPa < 14MPa valor de laboratorio y cumple a cortante el valor máximo a cortante fue de 0,329MPa < 6,7 MPa valor de laboratorio.

La incorporación de materiales sostenibles en el sistema como la madera plástica utilizada para la estructura flotante propicia la descontaminación del medio ambiente mediante el reciclaje de plástico facilitando una nueva vida y uso a estos materiales. Los beneficios alcanzados con el desarrollo de este sistema generan impacto favorable con relación al fortalecimiento de la conciencia ecológica de las personas y mejorar sus hábitos del uso y consumo racional de los recursos naturales, incrementar la cultura de separación de desechos y del reciclado de materiales, etc.

Se determinó para el sistema constructivo placas de Superboard y perfiles de lámina delgada para muros internos, externos, cubierta y entrepiso. Las ventanas en aluminio y acrílico, puertas en pvc plegable, Tejas techoline es una placa ondulada, fabricada con fibras vegetales y saturadas con un bitumen (asfalto de alta densidad). Y se utilizó Acabo de piso liviano (vinilo).

El diseño estructural de vigas de cimentación forma anillos según lo indicado en el plano arquitectónico, los cálculos según las cargas que debe soportar la cimentación estableció un Área utilizada  $0,09\text{m}^2 > 0,075\text{m}^2$  área necesario con relación al esfuerzo del suelo y la carga máxima mayorada lo que indica que cumple. El diseño de vigas de cimentación se realizó teniendo en cuenta lo establecido en el título E de la norma sismo resistente que aunque es una norma para mampostería confinada no deja de ser un buen referente para el desarrollo de la propuesta investigativa. Para la cimentación de las guías verticales (rieles) se sugiere el uso de zapatas aisladas, ya que el fluido se considera estático y el empuje debido al agua es despreciable por lo tanto para la estimación de su sección se utiliza el espectro de diseño aceleración de 0.25 para el municipio de Cartago.

La zapata aislada que soporta el perfil HEA 220 se diseñó para dispersar la carga de la estructura en el suelo con dimensiones  $1,20\text{m} * 1,20\text{m} * 0,30\text{m}$ , la carga que debe soportar es de  $1,45 \text{ KN/m} < 1,50 \text{ KN/m}$  capacidad del suelo lo que indica que cumple.

El prototipo a escala construido y sometido a ensayo en campo para mostrar gráficamente la flotación de la estructura, fue de gran ayuda ya que en él se pudo verificar la flotabilidad del mismo y obtener los detalles necesarios para el diseño de la vivienda en tamaño real. Al realizar la revisión y determinando el peso real para el modelo de la vivienda a escala  $=169,03 \text{ kg}$ , se obtuvo que la estructura no soportaba, ya que la carga máxima que soportó fue de  $100 \text{ kg}$ . De esta manera se rediseñó y se demostró por medio de cálculos la nueva estructura a escala.

En el proceso de investigación sobre el municipio de Cartago y en especial sobre el Barrio Villa Juliana, fue complicado ya que el municipio no cuenta con un archivo organizado y un personal idóneo para dar la información requerida. Por este motivo solo se recopiló la información que está en el contenido del trabajo.

El valor de costo directo de esta vivienda es de \$ 58.156.536,66y clasifica en vivienda de interés social (VIS) según lo indicado por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia ya que el valor es menor a \$79.582.500.

El estudio de suelo realizado por Sigifredo Cortes y Rodrigo Duran titulado “Informe geotécnico y recomendaciones de cimentación proyecto edificación de 3 pisos con sótano, carrera 3 no. 13-20 – lote parqueaderos Cartago; Valle del cauca” fue tomado como referencia para realizar los diseños estructurales de las vigas que aunque no eran prioridad según lo indicado en los objetivos se mostró para una propuesta más completa. El estudio de suelos utilizado es solo para la realización del ejercicio y no corresponde a los datos reales de la zona de estudio del proyecto de investigación.



## **10. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un detallado análisis para el diseño de acueducto y alcantarillado de la vivienda contra inundaciones donde se logre cumplir con el objetivo principal en términos de habitabilidad. Así como también realizar un tratamiento de aguas para evitar la propagación de enfermedades.

Debido a que la vivienda se encuentra en zona de amenaza sísmica alta el diseño estructural arroja un sistema de guías verticales de seis perfiles que resultan muy costos, se recomienda mejorar el sistema para reducir dichos costos.

El diseño de la estructura flotante propuesto en materiales plásticos reciclado genera un peso excesivo que debería ser estudiado y mejorado para evitar altos costos al proyecto.

En el desarrollo del proyecto se realizó el chequeo a compresión, flexión y cortante en el software ETABS donde se verificó en cada elemento de la estructura el valor de la fuerza producida por la carga de la vivienda y se eligió el mayor valor para comparar con el dato de laboratorio. Además de esto es necesario complementar con estudios donde se verifique el comportamiento del material plástico frente a diversos problemas como temperatura y rotura en las canecas plásticas entre otros.

El material utilizado para la estructura flotante es una alternativa que no tiene los ensayos y especificaciones de sus propiedades mecánicas abalados por la AIS (asociación colombiana de ingeniería sísmica) y no está contemplada en la norma sismo resiste, por tal motivo debe realizarse los ensayos y procedimientos adecuados en otra etapa del proyecto para garantizar el comportamiento del material plástico como material que forma parte de una estructura sismo resistente.

El factor arquitectónico debe ser considerado al momento de elegir la geometría de la vivienda para mejorar la estabilidad de la estructura así como también sobre costos del proyecto.

Es necesario realizar un estudio económico donde se indique la relación costo beneficio del proyecto donde se especifique los beneficios del sistema a largo plazo y considerar las dificultades al momento de una inundación.

Este proyecto debe utilizarse para zonas de inundación lenta o estática donde las lluvias producen un aumento paulatino del caudal inundando áreas planas. Para adaptar a otro tipo de inundación debe realizarse la investigación para la condición específica.

El estudio de suelos utilizado para el diseño estructural se tomo como referencia para desarrollar el proyecto de investigación, para la realización del proyecto en otra etapa se debe considerar la capacidad portante para zona inundable y ensayos triaxiales contemplando la condición saturada del terreno para obtener un diseño mas apropiado.

La vivienda flotante propuesta en esta investigación es para un piso, si se desea realizar posibles modificaciones en su área es necesario considerar un nuevo diseño estructural. Es necesario aclarar que se debe tener en cuenta las cargas de viento sobre los muros exteriores para el diseño.

Sobre las guías verticales se deslizan carros pegados a la estructura flotante con 3 rodillos de nylon que garantizan el adecuado desplazamiento del conjunto. Es necesario realizar un estudio sobre la fijación de los rodillos a la estructura flotante para garantizar su trabajo al momento de la inundación.

Es necesario realizar en otra etapa una descripción más detallada de la fijación entre la estructura flotante y la vivienda. Y realizar los diseños y especificaciones técnicas de dicho proceso.

Es importante resaltar que el sistema constructivo para muros exteriores utilizado en la investigación puede generar problemas de inseguridad se recomienda mejorar el sistema frente a esta dificultad en una nueva etapa.

Los tanques plásticos que generan la flotabilidad del sistema es necesario protegerlos cubriendo la estructura flotante con otro material y así evitar que queden expuestos provocando rotura por vandalismo.

Debe realizarse un estudio en otra etapa de investigación para determinar el comportamiento de la estructura ante la ocurrencia de un sismo debido a que las bases quedan bajo agua y las guías verticales que permiten el desplazamiento son columnas muy esbeltas. Así como también el comportamiento de la estructura ante la ocurrencia de un sismo aplicado 100% en una dirección y 30% en otra.

En el proyecto de investigación se muestran diferentes tipos de vivienda flotante que se toman como referencia solo sus diseños y sistemas constructivos para tener en cuenta al momento de proponer el sistema para esta investigaciones, es importante aclarar que estos diseños son adaptados a diferente demografía y economía por tanto se considero un diseño adecuado a las condiciones de Colombia.

.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Caribe, C. E. p. A. L. y. e., & CEPAL. (2012). Informe, Valoración de daños y pérdidas. Ola Invernal en Colombia, BID 2010-2011. Bogotá.

Cartago. (2007). Retrieved from <http://es.wikipedia.org/wiki/Cartago>

DAS, B. M. Libro Fundamento de Ingeniería Geotécnica. *Capítulo 11. Cimentaciones superficiales, capacidad de carga y asentamientos.*

Demografía de Cartago. (2013): Alcaldía de Cartago, Valle del Cauca.

Development, . (2009). Parade of Homes Around Lakeview. Retrieved from [www.associationevent.com/PATL/BUILDER/spatz.pdf](http://www.associationevent.com/PATL/BUILDER/spatz.pdf)

Duran, S. C. y. R. (2011). Informe. Estudio de Suelos. Cartago.

Fenuta, E. V. (2010a). Amphibious Architectures: The Buoyant Foundation Project in Post-Katrina New Orleans p.177, 195, 196, 203, 299. Canadá.

Guzmán, J. L. (2011). Invierno provoca fuertes inundaciones en Obando y Cartago, Valle, *El País*.

Inundaciones en Cartago. (2008). *El Cartagüño*.

Molina, S. A., & Castaño, L. M. (2011). Anfibia, Spin Off: Proyecto de grado Retrieved from <http://www.eafit.edu.co/agencia-noticias/historico-noticias/2011/junio/Paginas/una-casa-flotante-para-hacerle-frente-al-invierno.aspx>

Ossa, A. V. J. S. d. I., Campillo, A. L. M. M., Berrocal, A. J. D., Posada, A. M. C., & Benedetti, I. C. J. E. C. Desarrollo de elementos estructurales y no estructurales en plástico reciclado para su aplicación en proyectos de vivienda de emergencia. ([http://www.sociedadcolombianadearquitectos.org/site/ikuna/files/6880428\\_memento\\_moria\\_699.pdf](http://www.sociedadcolombianadearquitectos.org/site/ikuna/files/6880428_memento_moria_699.pdf)).

Retrieved from Pais, E. (2010). Invierno en el Valle. *Zonas más afectadas*. Retrieved from <http://www.elpais.com.co/elpais/especiales/invierno/index.html>

Prosun, P. (2010). Canada: A thesis presented to the University of Waterloo.

Norma Sismo resistente NSR - 10 (2010) *Decreto 926 del 19 de Marzo de 2010, "Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10"*

*Decreto 2525 de Julio de 2010. Transitoriedad)*

*Decreto 3102 de 1997*

*Decreto 1052 de 1998*

*Resolución 1096 de 2000*

*Actualización MAVDT. Colombia.*

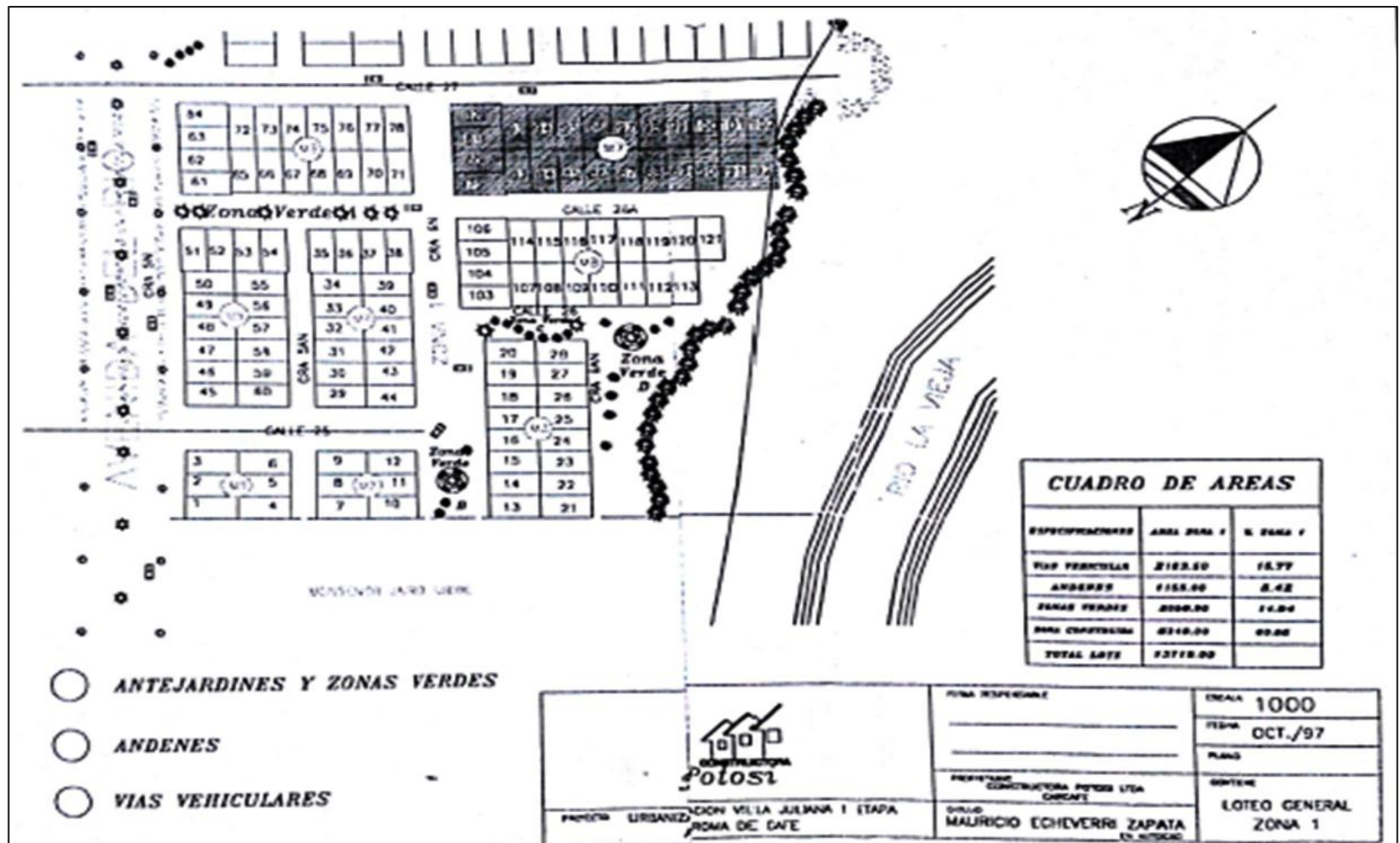
Superboard, Arquitectura Liviana. (2010).

Vermeer, D. (2010). Amphibious and Floating Homes in Maasbommel. Retrieved from <http://www.duravermeer.nl/projecten/details/1477/maasbommel-waterwoningen-maasbommel>

(UNGRD), U. N. p. I. G. d. R. d. D., & (DAPRE), D. A. d. I. P. d. I. R. (2012). Informe, Valoración de daños y pérdidas. Ola Invernal en Colombia, BID 2010-2011. 50.

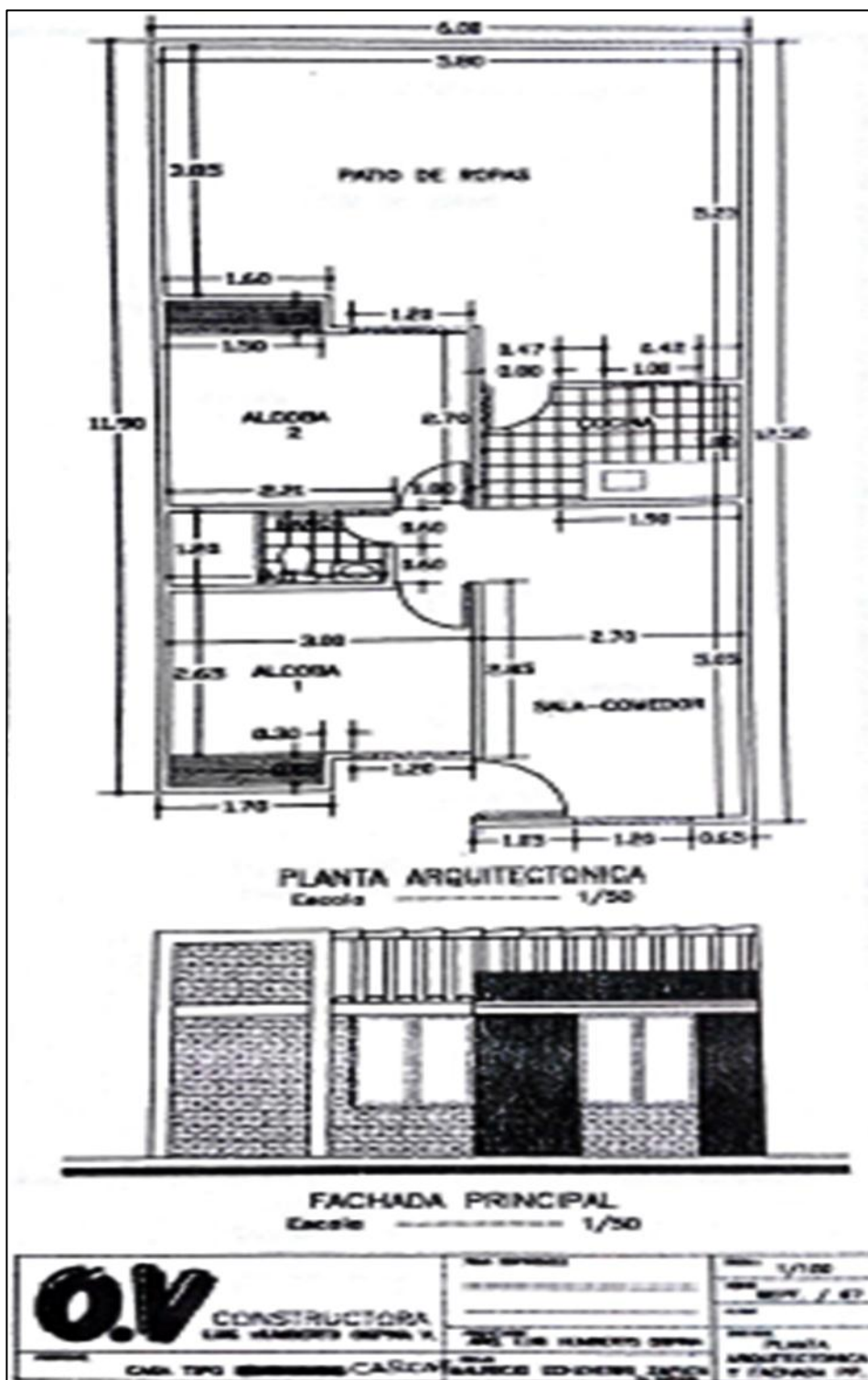
# ANEXOS

# Anexo A. Plano Urbanización Villa Juliana



Fuente: Oficina de Planeación Municipal Municipio de Cartago Valle de Cauca.

Anexo B. Plano Arquitectónico vivienda del Barrio Villa Juliana.



Fuente: Oficina de Planeación Municipal Municipio de Cartago Valle de Cauca.

Anexo C. Ensayo de compresión de la madera plástica REXCO.

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA</b> <b>SEDE MANIZALES</b> <b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>ENSAYO DE COMPRESION</b>						
Fecha recepción muestra:	Diciembre 2, 2002				R110-184	
Fecha ensayo:	Diciembre 3, 2002				Pág. 1 de 1	
Interesado:	Daniel Avendaño					
Obra:	Tesis					
Descripción de la muestra:	Madera plástica					
Procedencia de la muestra:	Fábrica de madera plástica Rexco					
Aplicación del material:	-					


No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Altura (mm)	Area (mm ^2)	Carga máxima (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	94,00	48,00	180	4.512	137,1	30,38

**OBSERVACIONES:**

**Ensayó: J.J.C.S.**
**Revisó: C.A.B.M.**
**Calculó: L.R.L.**
**Fecha expedición informe: Diciembre 3, 2002**

Este informe sólo afecta las muestras sometidas a ensayo. No podrá ser reproducido ni total ni parcialmente, excepto cuando sea autorizado por escrito por parte del laboratorio.



**ING. CARLOS ALBERTO BERMUDEZ**  
**Jefe Laboratorio de Materiales**


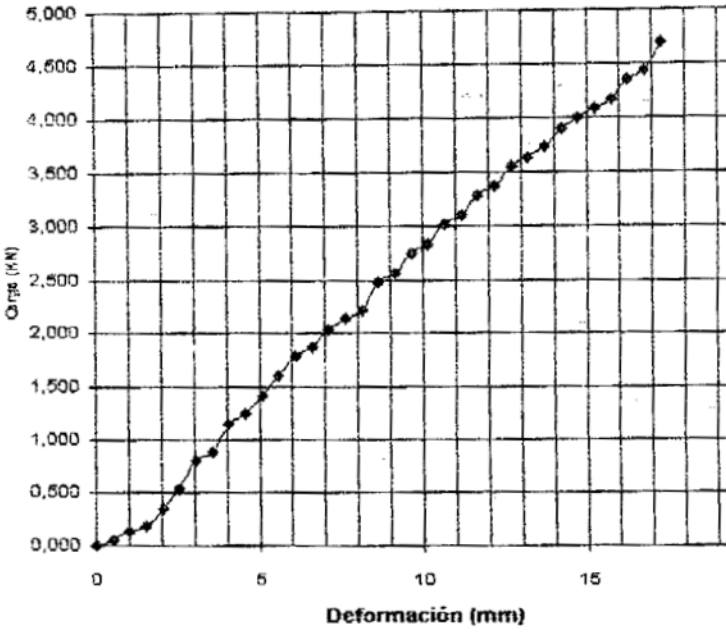
LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
 SEDE MANIZALES NO GARANTIZA LA  
 REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA

**CARRERA 27 No.64-60 APARTADO 127. TELEFONO - FAX: (096) 8810000 EXT. 320-321.**  
**E-mail: lsuelos@nevado.manizales.unal.edu.co**

Fuente: ECHEVERRI, Julián Escoba. Entrevista, Muelle flotante en madera plástica: REXCO.



Anexo D. Ensayo de flexión estática en vigas de polipropileno.

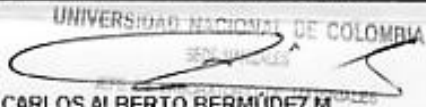
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA</b>		
<b>SEDE MANIZALES</b>		
<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b>		
<b>ENSAYO DE FLEXION ESTATICA EN VIGAS DE POLIPROPILENO (ASTM D198)</b>		
Fecha:	Febrero 12, 2002	R18-13
Interesado:	César Augusto Vega	Pág 1/1
Obra:	Proyecto Análisis de la Madera Plástica como Material para elemento estructural	
Descripción de la muestra:	Viga en Polipropileno	
Procedencia de la muestra:	Cartago	
Aplicación del material:	Elemento Estructural	
<b>DIMENSIONES</b>		
Muestra N°		1
Alura (mm)		62,0
Ancho (mm)		62,00
Distancia entre apoyos (mm)		660,00
Momento de Inercia (mm <sup>4</sup> )		1.231.361,3
 <p><i>Cargas puntuales aplicadas en 1/2 de la luz total</i></p>		
Deflexión (mm)	Carga (kN)	
0,000	0,000	
0,508	0,044	
1,016	0,133	
1,524	0,178	
2,032	0,355	
2,540	0,533	
3,048	0,799	
3,556	0,888	
4,064	1,154	
4,572	1,243	
5,080	1,420	
5,588	1,508	
6,096	1,775	
6,604	1,864	
7,112	2,041	
7,620	2,130	
8,128	2,219	
8,636	2,485	
9,144	2,574	
9,652	2,752	
10,160	2,840	
10,668	3,018	
11,176	3,107	
11,684	3,284	
12,192	3,373	
12,700	3,550	
13,208	3,639	
13,716	3,728	
14,224	3,905	
14,732	3,994	
15,240	4,083	
15,748	4,172	
16,256	4,349	
16,764	4,438	
17,272	4,704	
Carga Máxima (kN)		5,746
Módulo de elasticidad (GPa)		1,35
<b>OBSERVACIONES:</b> Con una carga de 5,68 KN la viga se deformó 29 mm		
Ensayó: J.J.C.S.	Revisó: C.A.B.M.	Calculó: L.R.L.
Fecha expedición informe		Febrero 13, 2002
Este informe sólo afecta las muestras sometidas a ensayo. No podrá ser reproducido ni total ni parcialmente sin autorización por		
ING. CARLOS ALBERTO BERMUDEZ M. Ing. Laboratorio de Materiales		

Fuente: ECHEVERRI, Julián Escoba. Entrevista, Muelle flotante en madera plástica: REXCO.

Anexo E. Ensayo de tensión de la madera plástica REXCO.

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA</b> <b>SEDE MANIZALES</b> <b>LABORATORIO DE MATERIALES</b>					
<b>TENSIÓN</b>					
Fecha de ensayo:		Diciembre 3, 2002		<b>R110-185</b>	
Interesado:		Daniel Avendaño Uribe		Pág 1/1	
Obra:		Tesis			
Descripción de la muestra:		Madera plástica			
Procedencia de la muestra:		Fábrica de madera plástica Rexco			
Aplicación del material:		-			
Muestra No.	Sección Media (mm <sup>2</sup> )		Carga (N)	Esfuerzo (Mpa)	Observaciones
1	7,0	5,5	4562,3	118,50	Falla dentro del área de tensión pura
	Área:	38,50			
OBSERVACIONES:					
Ensayó: J.J.C.S. Revisó: C.A.B.M. Calculó: L.R.L. Fecha expedición informe: Diciembre 3, 2002					

Este informe sólo afecta las muestras sometidas a ensayo. No podrá ser reproducido ni total ni parcialmente, excepto cuando sea autorizado por escrito por parte del laboratorio.

  
**CARLOS ALBERTO BERMÚDEZ M.**  
 Jefe Laboratorio de Materiales

LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
 SEDE MANIZALES NO GARANTIZA LA  
 REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA  
 ANALIZADA.

**CARRERA 27 No.64-69 APARTADO 127. TELEFONO - FAX: (056) 8810000 EXT. 320-321.**  
**E-mail: lsuelos@nevado.manizales.unal.edu.co**

Fuente: ECHEVERRI, Julián Escoba. Entrevista, Muelle flotante en madera plástica: REXCO.

Anexo F. Ensayo de resistencia al cizallamiento de la madera plástica REXCO.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA								
SEDE MANIZALES								
LABORATORIO DE MATERIALES								
ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO								
Fecha:	Febrero 12, 2002						R18-34	
Interesado:	César Augusto Vega						Pág 1/1	
Otra:	Proyecto Análisis de la madera plástica como material para elemento estructural							
Descripción de la muestra:	Probeta en Polipropileno							
Procedencia de la muestra:	Cartago							
Aplicación del material:	Elemento Estructural							

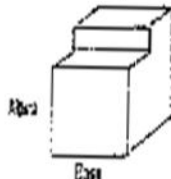
  

Muestra No.	Altura Mayor (mm)	Altura Menor (mm)	Lado Mayor (mm)	Lado Menor (mm)	Bata (mm)	Área del plano de corte (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Esfuerzo de Corte (MPa)
1	62,0	46,0	53,0	32,0	64,0	2.944,0	39,5	13,42

**OBSERVACIONES:**

Diagrama de la muestra ensayada



Ensayó: J.J.C.S.	Revisó: C.A.B.M.	Calculó: L.R.L.	Fecha de Expedición Informe: Febrero 13, 2002
------------------	------------------	-----------------	-----------------------------------------------

Este informe sólo afecta las muestras sometidas a ensayo. No podrá ser reproducido ni total ni parcialmente, excepto cuando sea autorizado por escrito por parte del laboratorio.

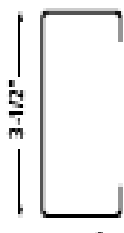
ING. CARLOS ALBERTO BERMUDEZ M.  
Jefe Laboratorio de Materiales

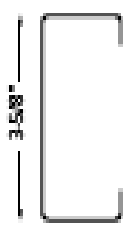
  

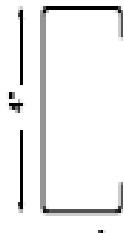
CARRERA 2ª No. 64-40 APARTADO 127. TELÉFONO: 3310000 EXT. 324-325, FAX (096) 3363906

Fuente: ECHEVERRI, Julián Escoba. Entrevista, Muelle flotante en madera plástica: REXCO.

Anexo G. Tabla de Pre diseño de muros

SERIE PMH				Perfiles tipo PARAL Uso principal Muros Interiores y Exteriores															
Producto	Corte	Referencia	Espado entre parales	Carga horizontal (kg/m²)															
				25		50		100		150		200							
				Deflexión admisible															
				U/340	U/360	U/600	U/340	U/360	U/600	U/340	U/360	U/600	U/340	U/360	U/600				
 PARAL DE 3 1/2" x 1 5/8"	24	F3501 6224	30,5	5,04	4,41	3,72	4,00	3,50	2,95	3,18	2,78	2,34	2,78	2,48	2,05	2,52	2,20	1,88	
			40,5	4,59	4,01	3,38	3,64	3,18	2,68	2,89	2,53	2,13	2,53	2,21	1,86	2,29	2,00	1,69	
			61,0	4,00	3,50	2,95	3,18	2,78	2,34	2,52	2,20	1,86	2,20	1,92	1,62	2,00	1,75	1,48	
	22	F3501 6222	30,5	5,30	4,63	3,91	4,21	3,68	3,10	3,34	2,92	2,46	2,92	2,55	2,15	2,65	2,32	1,95	
			40,5	4,83	4,22	3,56	3,83	3,35	2,82	3,04	2,66	2,24	2,66	2,32	1,96	2,41	2,11	1,78	
			61,0	4,21	3,68	3,10	3,34	2,92	2,46	2,65	2,32	1,96	2,32	2,02	1,71	2,10	1,84	1,55	
	20	F3501 6220	30,5	5,75	5,03	4,24	4,57	3,99	3,36	3,62	3,17	2,67	3,17	2,77	2,33	2,88	2,51	2,12	
			40,5	5,23	4,57	3,86	4,15	3,63	3,06	3,30	2,88	2,43	2,88	2,52	2,12	2,62	2,29	1,93	
			61,0	4,57	3,99	3,36	3,62	3,17	2,67	2,88	2,51	2,12	2,51	2,19	1,85	2,28	1,99	1,68	
	18	F3501 6218	30,5	6,31	5,51	4,65	5,01	4,37	3,69	3,97	3,47	2,93	3,47	3,03	2,56	3,15	2,75	2,32	
			40,5	5,74	5,01	4,23	4,55	3,98	3,36	3,61	3,16	2,66	3,16	2,76	2,33	2,87	2,51	2,11	
			61,0	5,01	4,37	3,69	3,97	3,47	2,93	3,15	2,75	2,32	2,75	2,41	2,03	2,50	2,19	1,84	
	16	F3501 6216	30,5	6,77	5,91	4,99	5,37	4,69	3,96	4,26	3,72	3,14	3,72	3,25	2,74	3,38	2,96	2,49	
			40,5	6,16	5,38	4,54	4,89	4,27	3,60	3,88	3,39	2,86	3,39	2,96	2,50	3,08	2,69	2,27	
			61,0	5,37	4,69	3,96	4,26	3,72	3,14	3,38	2,96	2,49	2,96	2,58	2,18	2,69	2,35	1,98	

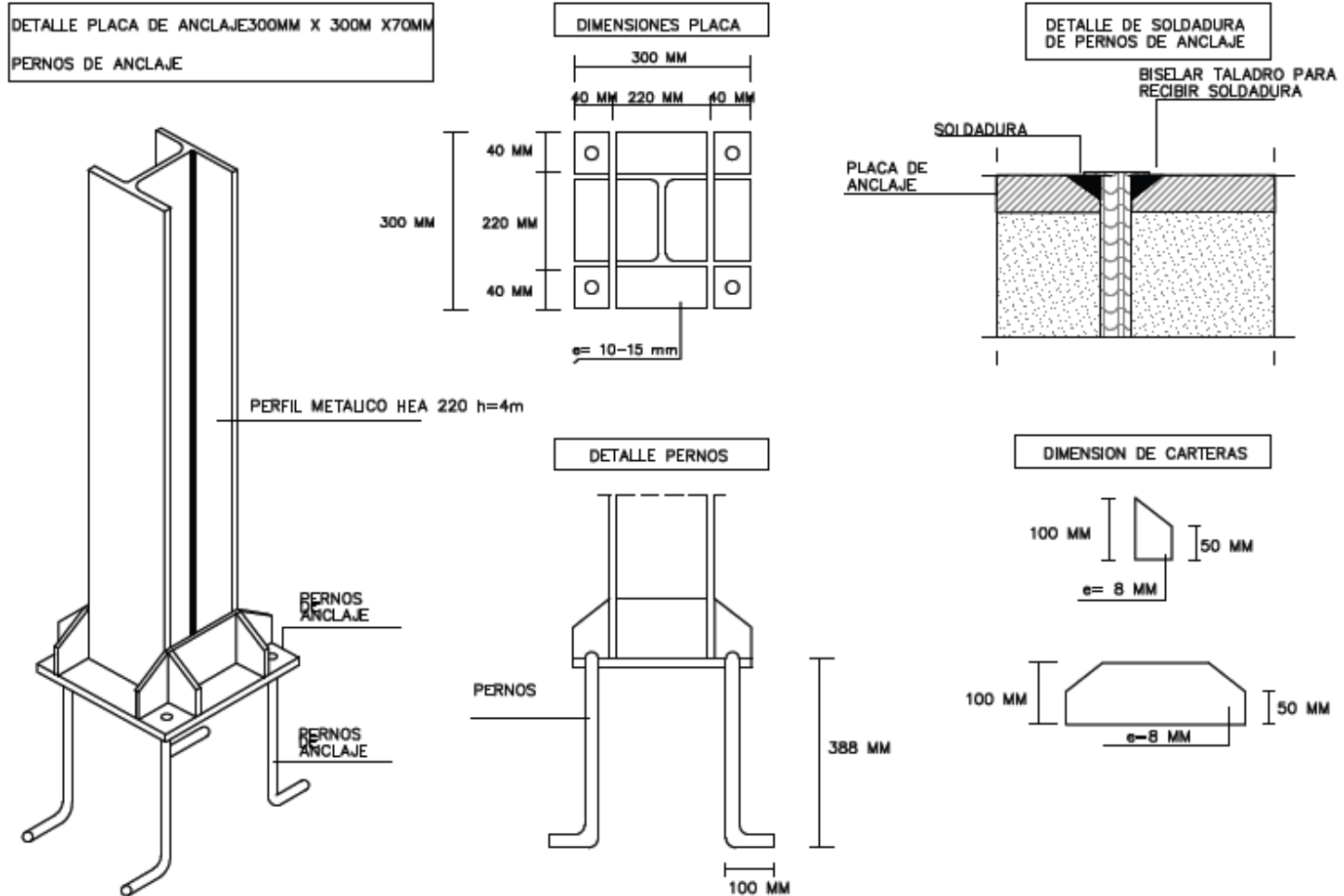
 PARAL DE 3 5/8" x 1 5/8"	24	F3621 6224	30,5	5,18	4,53	3,82	4,11	3,59	3,03	3,26	2,85	2,41	2,85	2,49	2,10	2,59	2,26	1,91
			40,5	4,71	4,12	3,47	3,74	3,27	2,76	2,97	2,59	2,19	2,59	2,27	1,91	2,36	2,06	1,74
			61,0	4,11	3,59	3,03	3,26	2,85	2,41	2,59	2,26	1,91	2,26	1,98	1,67	2,06	1,80	1,52
	22	F3621 6222	30,5	5,46	4,76	4,01	4,32	3,78	3,19	3,48	3,00	2,53	3,00	2,62	2,21	2,72	2,38	2,01
			40,5	4,96	4,33	3,65	3,93	3,44	2,90	3,12	2,73	2,30	2,73	2,38	2,01	2,48	2,17	1,83
			61,0	4,32	3,78	3,19	3,43	3,00	2,53	2,72	2,38	2,01	2,38	2,08	1,75	2,16	1,89	1,59
	20	F3621 6220	30,5	5,91	5,16	4,35	4,69	4,10	3,46	3,72	3,25	2,74	3,25	2,84	2,40	2,95	2,58	2,18
			40,5	5,38	4,70	3,96	4,27	3,73	3,14	3,39	2,96	2,50	2,96	2,58	2,18	2,69	2,35	1,98
			61,0	4,69	4,10	3,46	3,72	3,25	2,74	2,95	2,58	2,18	2,58	2,25	1,90	2,35	2,05	1,73
	18	F3621 6218	30,5	6,48	5,66	4,77	5,14	4,49	3,79	4,08	3,57	3,01	3,57	3,11	2,63	3,24	2,83	2,39
			40,5	5,89	5,15	4,34	4,68	4,09	3,45	3,71	3,24	2,74	3,24	2,83	2,39	2,95	2,57	2,17
			61,0	5,14	4,49	3,79	4,08	3,57	3,01	3,24	2,83	2,39	2,83	2,47	2,09	2,57	2,25	1,89
	16	F3621 6216	30,5	6,95	6,07	5,12	5,52	4,82	4,07	4,38	3,83	3,23	3,83	3,34	2,82	3,48	3,04	2,56
			40,5	6,32	5,53	4,66	5,02	4,39	3,70	3,98	3,48	2,94	3,48	3,04	2,56	3,16	2,76	2,33
			61,0	5,52	4,82	4,07	4,38	3,83	3,23	3,48	3,04	2,56	3,04	2,65	2,24	2,76	2,41	2,03

 PARAL DE 4" x 1 5/8"	24	F4001 6224	30,5	5,57	4,87	4,11	4,42	3,87	3,26	3,51	3,07	2,59	3,07	2,68	2,26	2,79	2,48	2,05
			40,5	5,07	4,43	3,74	4,03	3,52	2,97	3,19	2,79	2,35	2,79	2,44	2,06	2,54	2,22	1,87
			61,0	4,42	3,87	3,26	3,51	3,07	2,59	2,79	2,43	2,05	2,43	2,13	1,79	2,21	1,93	1,63
	22	F4001 6222	30,5	5,86	5,12	4,32	4,65	4,06	3,43	3,69	3,22	2,72	3,22	2,82	2,38	2,93	2,56	2,16
			40,5	5,33	4,66	3,93	4,23	3,70	3,12	3,36	2,93	2,47	2,93	2,56	2,16	2,67	2,33	1,96
			61,0	4,65	4,06	3,43	3,69	3,22	2,72	2,93	2,56	2,16	2,56	2,24	1,89	2,32	2,03	1,71
	20	F4001 6220	30,5	6,35	5,55	4,68	5,04	4,40	3,71	4,00	3,49	2,95	3,49	3,05	2,57	3,17	2,77	2,34
			40,5	5,78	5,05	4,26	4,58	4,01	3,38	3,64	3,18	2,68	3,18	2,78	2,34	2,89	2,52	2,13
			61,0	5,04	4,40	3,71	4,00	3,49	2,95	3,17	2,77	2,34	2,77	2,42	2,04	2,52	2,20	1,86
	18	F4001 6218	30,5	6,95	6,07	5,12	5,52	4,82	4,07	4,38	3,83	3,23	3,83	3,34	2,82	3,48	3,04	2,56
			40,5	6,33	5,53	4,66	5,02	4,39	3,70	3,99	3,48	2,94	3,48	3,04	2,57	3,16	2,76	2,33
			61,0	5,52	4,82	4,07	4,38	3,83	3,23	3,48	3,04	2,56	3,04	2,65	2,24	2,76	2,41	2,03
	16	F4001 6216	30,5	7,45	6,51	5,49	5,92	5,17	4,36	4,69	4,10	3,46	4,10	3,58	3,02	3,73	3,26	2,75
			40,5	6,78	5,92	5,00	5,38	4,70	3,97	4,27	3,73	3,15	3,73	3,26	2,75	3,39	2,96	2,50
			61,0	5,92	5,17	4,36	4,69	4,10	3,46	3,73	3,26	2,75	3,26	2,84	2,40	2,96	2,58	2,18

Fuente: Manual Técnico Superboard, Matec

## Anexo H. Detalle de placa base de anclaje.

### DETALLE PLACA DE ANCLAJE



Anexo I. Detalle de diseño estructural del proyecto.





Anexo J. Vivienda flotante sobre el terreno sin inundación.





Anexo K. Vista lateral de Vivienda flotante.





Anexo L. Interior de la vivienda contra inundaciones.



Anexo M. Vivienda contra inundaciones flotando.





Anexo N. Vista desde el fondo de la vivienda contra inundaciones flotando.



## Anexo O. Características de la vivienda flotante contra inundaciones



Anexo P. Plano sistema eléctrico.

Anexo Q. Plano sistema liviano.